

SELECCIÓN DE ESTRATEGIAS DE GESTIÓN DE ÁREAS DE INTERÉS HÍDRICO

SELECTION OF MANAGEMENT STRATEGIES FOR WATER INTERES AREAS

MÁSTER UNIVERSITARIO EN HIDROLOGÍA Y GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS

Presentado por:

Claudia Margoth Encalada Borja

Dirigido por:

Dr. D. Angel Udías Moinelo

Quito, 08 de julio de 2019

ÍNDICE

ÍNDICE.....	3
ÍNDICE DE FIGURAS	5
ÍNDICE DE TABLAS.....	6
ABREVIATURAS	7
RESUMEN	8
AGRADECIMIENTOS.....	9
1. INTRODUCCIÓN.....	10
1.1. Antecedentes.....	10
1.2. Justificación	11
1.3. Objetivos.....	12
1.3.1. Objetivo General.....	12
1.3.2. Objetivos específicos	12
2. METODOLOGÍA.....	13
2.1. Introducción a la teoría de la decisión	13
2.2. Fundamentos del Análisis Multicriterio	14
2.3. Decisiones Multicriterio en certidumbre	15
2.4. Decisiones con incertidumbre o riesgo	15
2.4.1. Valoración	17
2.4.2. Herramientas informáticas utilizadas	18
2.5. Caso de Estudio	19
2.5.1. Áreas de estudio	20
2.5.1.1. Predio Antisana	20
2.5.1.2. Comunidad de Oyacachi	21
3. EL PROBLEMA DE DECISIÓN EN EPMAPS QUITO	23
3.1. Descripción	23
3.2. Estructuración del problema de decisión	23
3.2.1. Alternativas.....	23
3.2.2. Criterios	24
3.2.2.1. Criterio Ambiental.....	24
3.2.2.2. Criterio Económico	25
3.2.2.3. Criterio Social	26
3.2.3. La Matriz de Decisión	26
3.2.4. Incertidumbres	31
3.3. Modelización de creencias	32

3.3.1.	Nodos de Azar: Regulación Hídrica.....	34
3.3.2.	Nodos de Azar: Recuento de E. coli.....	34
3.3.3.	Nodos de Azar: Inversión.....	35
3.3.4.	Nodos de Azar: Mantenimiento.....	36
3.3.5.	Nodos de Azar: Percepción EPMAPS – Comunidad	36
3.3.6.	Nodos de Azar: Población servida	37
3.4.	Modelización de preferencias	37
3.4.1.	Subobjetivo Cantidad de Agua.....	38
3.4.2.	Subobjetivo Calidad de Agua.....	38
3.4.3.	Subobjetivo Inversión.....	39
3.4.4.	Subobjetivo Mantenimiento	39
3.4.5.	Subobjetivo Percepción Social	39
3.4.6.	Subobjetivo Población servida	39
4.	RESULTADOS	40
4.1.	Decisión en Certidumbre (Método de TOPSIS)	40
4.1.1.	Análisis de sensibilidad: TOPSIS.....	41
4.2.	Decisión en Incertidumbre (GeNIe)	42
4.3.	Análisis de sensibilidad: GeNIe.....	44
5.	DISCUSIÓN.....	46
6.	CONCLUSIONES.....	47
7.	BIBLIOGRAFÍA	48
8.	ANEXOS.....	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Oferta y Demanda de Agua del DMQ	11
Figura 2. Proceso de resolución de problemas	13
Figura 3. Procedimiento TOPSIS	15
Figura 4. Etapas del proceso de decisión bajo condiciones de incertidumbre	16
Figura 5. Tipos de nodos de GeNIe.....	19
Figura 6. Localización Predio Antisana	21
Figura 7. Localización Comunidad de Oyacachi	22
Figura 9. Diagrama modelizado en GeNIe.....	33
Figura 9. Probabilidades de ocurrencia de los intervalos de IRH	34
Figura 10. Probabilidades de ocurrencia de los intervalos de E. coli.....	35
Figura 11. Probabilidades de ocurrencia de los intervalos de inversión	36
Figura 12. Probabilidades de ocurrencia de los intervalos de mantenimiento	36
Figura 13. Probabilidades de ocurrencia de los intervalos de percepción social	37
Figura 14. Probabilidades de ocurrencia de los intervalos de acceso a agua	37
Figura 15. Suma (ponderadamente) la contribución de cada criterio a cada una de las alternativas.....	40
Figura 17. Diagrama resultados del problema modelizado en GeNIe.....	43
Figura 18. Resultados: Utilidad Total	44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de los tipos de decisiones	14
Tabla 2. Clasificación de criterios de valoración de decisiones sin utilizar probabilidades (en certidumbre)	17
Tabla 3. Clasificación de criterios de valoración de decisiones utilizando probabilidades (bajo incertidumbre)	18
Tabla 4. Matriz de Decisión	27
Tabla 5. Representación numérica de la encuesta de percepción social.....	28
Tabla 6. Valores IRH [%]	28
Tabla 7. Recuento de E. coli representado por el NMP/100ml	29
Tabla 8. Inversión realizada por tipo de gestión en cada área de estudio [USD/ha]	29
Tabla 9. Gasto de mantenimiento anual [USD/ha]	29
Tabla 10. Resultados de la encuesta de percepción social.....	30
Tabla 11. Porcentaje de población con acceso a agua potable [%]	30
Tabla 12. Matriz de decisión: Antisana	31
Tabla 13. Matriz de decisión: Oyacachi	31
Tabla 14. Intervalos definidos para el nodo de regulación hídrica.....	34
Tabla 15. Intervalos definidos para el nodo de recuento de E. coli.....	35
Tabla 16. Intervalos definidos para el nodo de inversión	35
Tabla 17. Intervalos definidos para el nodo de mantenimiento.....	36
Tabla 18. Intervalos definidos para el nodo población servida.	37
Tabla 19. Función de utilidad para cada subobjetivo	38
Tabla 20. Resultados Método TOPSIS	40
Tabla 21. Pesos utilizados para el análisis de sensibilidad (TOPSIS).....	42
Tabla 22. Resultados del Análisis de Sensibilidad - TOPSIS	42
Tabla 23. Análisis de sensibilidad con distintos escenarios	45

ABREVIATURAS

Abreviatura	Significado
AHP	Proceso Analítico Jerárquico
DMQ	Distrito Metropolitano de Quito
E. coli	Escherichia coli
ELECTRE	Eliminación y Elección Traduciendo la Realidad
EPMAPS	Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento
FONAG	Fondo para la Protección del Agua
GC	Gestión Comunitaria
GP	Gestión Privada
INEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censo
IRH	Índice de Regulación Hídrica
PNCC	Parque Nacional Cayambe Coca
QMD	Caudal Máximo Diario
RB	Redes Bayesianas
REA	Reserva Ecológica Antisana
SG	Sin Gestión
TOPSIS	La Técnica para el Orden de Preferencia por Similitud a Solución
USD	Dólar Americano

RESUMEN

La conservación y protección de los recursos hídricos, es un tema que ha tomado gran importancia a nivel mundial, es por esta razón que se buscan estrategias de conservación de las fuentes de agua para satisfacer la creciente demanda de agua potable.

La EPMAPS tiene como objetivo con las necesidades del DMQ y a su vez mantener el equilibrio de las fuentes de que abastecen a la ciudad, es por esta razón que en los últimos años se han tomado medidas para la protección y conservación de las fuentes. Entre las estrategias de conservación de EPMAPS se tienen: la adquisición de predios (gestión privada) de las áreas donde se encuentran las fuentes de agua y acuerdos con las comunidades aledañas a los recursos hídricos de interés (gestión comunitaria). El presente trabajo toma como ejemplo el Predio Antisana y Comunidad Oyacachi y pretende seleccionar entre tres estrategias para la gestión de áreas de interés hídrico: no realizar ningún tipo de gestión, gestión privada y gestión comunitaria.

El análisis se hace desde el punto de vista de EPMAPS, que como empresa pública no tiene como único objetivo la consecución de beneficios económicos, sino también garantizar el suministro de agua potable, tanto en calidad como en cantidad, mantener buenas relaciones con todos los actores involucrados en el abastecimiento de agua potable.

Para el análisis relativo a la selección de la mejor estrategia de gestión, se ha propuesto en base a conocimiento experto una jerarquía de criterios: ambiental, económico y social. Cada uno de los cuales depende de dos subcriterios, lo cual hace un total de seis subcriterios: cantidad y calidad de agua, costos de inversión y mantenimiento, percepción social y acceso a agua potable.

El problema de decisión así planteado (alternativas y criterios) se resolvió con dos aproximaciones metodológicas consistentes en considerar que no había ningún elemento sujeto a incertidumbres y considerando que si existían incertidumbres.

Los resultados muestran que para las dos zonas de estudio y con las dos metodológicas de análisis de decisión consideradas (con y sin incertidumbres) la mejor alternativa es siempre la gestión comunitaria, seguido de no realizar ninguna gestión y por último la gestión privada (ambas con resultados muy cercanos).

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecerle a mi mami que desde arriba me está cuidando y me da la fuerza e inspiración para seguir adelante cumpliendo todas mis metas.

Un agradecimiento especial a mi tutor Ángel Udías por todo el apoyo y guía que me ha brindado para el desarrollo de este trabajo, sin su empuje y consejos esto no hubiese sido posible.

También quiero agradecer a mi familia por todo el apoyo que me dan en cada meta que me propongo, gracias por estar siempre ahí.

A David que siempre está a mi lado dándome ánimos, apoyándome y brindándome su ayuda para culminar con la maestría y este trabajo.

Finalmente, quiero agradecer a la EPMAPS y sobre todo al Departamento de Gestión de Recursos Hídricos por ser parte de mi crecimiento profesional y permitirme obtener los datos para el desarrollo del presente trabajo.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

El cuidado y conservación de los recursos hídricos, es un tema que ha tomado gran importancia a nivel mundial, puesto que el abastecimiento de agua potable está directamente relacionado con la salud pública y el desarrollo de los países, es por esta razón que se buscan estrategias de conservación de los recursos hídricos.

Para el caso de Ecuador, en especial para el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), se pronostica que para 2020 sea la ciudad más poblada del país con 2.7 millones de habitantes aproximadamente, 40% más a la población censada en 2010 (INEC, 2017), motivo por el cual se incrementará la demanda de agua potable, por lo que es necesario la conservación de los recursos hídricos para abastecer la creciente demanda de una manera sostenible.

El DMQ se encuentra ubicado en la provincia de Pichincha, tiene una superficie de 4.228 km², está comprendido por 65 parroquias (32 urbanas y 33 rurales), mismas que reciben el servicio de agua potable y saneamiento a través de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS). La EPMAPS cuenta con una capacidad instalada de producción de agua potable de 9,5 m³/s y en 2018 se reportó un promedio de 8,3 m³/s y 7,8 m³/s de agua captada y distribuida respectivamente (EPMAPS, 2011, 2018).

Para cubrir con la demanda del DMQ, la EPMAPS se abastece de cinco sistemas principales de captación para la provisión de agua potable, estos son: Sistema Integrado Papallacta, Sistema Mica Quito Sur, Sistema Conducciones Orientales (Pita – Puengasí), Sistema de Conducciones Occidentales y Sistemas Menores (Rural, Pozos y Vertientes). Las fuentes de agua de la mayoría de estos sistemas se encuentran ubicadas en ecosistemas de páramo alto andino, es por esta razón que en los últimos años la EPMAPS junto con el Fondo para la Protección de Agua (FONAG) han realizado distintas estrategias de conservación de los recursos hídricos con el fin de proteger las fuentes de agua que abastecen al DMQ y garantizar su disponibilidad, entre estas estrategias se tiene: adquisición de predios y acuerdos con las comunidades (EPMAPS, 2018; Osorio, 2017).

1.2. Justificación

En el Plan Maestro de la EPMAPS realizado en 2011, se tiene que el Caudal Máximo Diario (QMD) del DMQ incrementará de 9 m³/s en 2010 a 13 m³/s en el 2040, lo que señala que para cubrir las futuras demandas de agua de la urbe se deberá incrementar la producción en 1,4 m³/s para 2020 y 3,5 m³/s en 2040, en estas aproximaciones no se incluye el caudal ecológico de cada fuente, el mismo que es importante para preservar estos recursos.

En la figura 1, se puede observar la oferta y demanda de agua potable en el DMQ, tomando en cuenta las captaciones de agua cruda existentes, además de incluir proyectos futuros y respetando el caudal ecológico de cada río. En la misma figura se realizan proyecciones de demanda (alta, media y baja) de acuerdo a las proyecciones de la población.

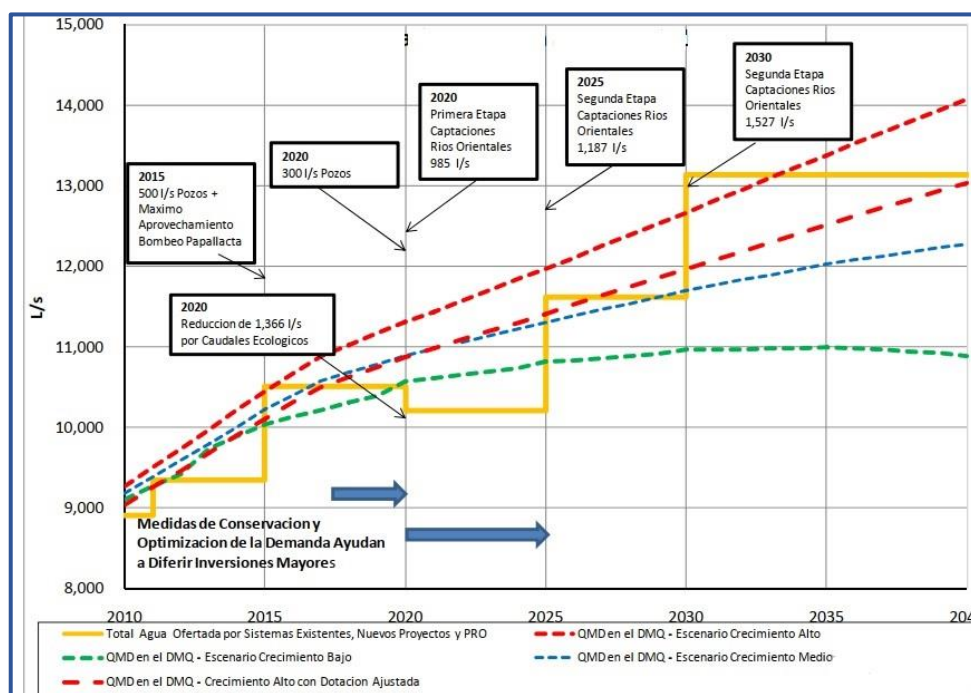


Figura 1. Oferta y Demanda de Agua del DMQ

Fuente: (EPMAPS, 2011)

De la figura anterior se puede percibir que la EPMAPS tiene un gran desafío para cumplir con la creciente demanda de agua del DMQ y a su vez mantener el equilibrio de las fuentes de agua que abastecen a la ciudad, es por esta razón que en los últimos años la EPMAPS y FONAG han tomado medidas para la protección y conservación de las fuentes de agua y de esta manera garantizar su disponibilidad.

Entre las estrategias de conservación de áreas de interés hídrico que la EPMAPS ha implementado se tienen: la adquisición de predios para establecer una gestión privada de las áreas donde se encuentran las fuentes de agua y acuerdos con las comunidades aledañas a los recursos hídricos de interés.

Por este motivo, el presente estudio busca determinar qué estrategia para la conservación de los recursos hídricos presenta mejores resultados tanto en lo social, económico y ambiental; para lo cual se toma como ejemplo el Sistema Mica Quito Sur (predio Antisana), conformado por el Embalse La Mica y distintas captaciones, este sistema aporta con $1.7 \text{ m}^3/\text{s}$ y el Sistema Integrado Papallacta (Comunidad Oyacachi) conformado por tres embalses Salve Faccha, Mogotes y Sucus, además de otras captaciones, con un caudal concedido de $3 \text{ m}^3/\text{s}$.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Seleccionar entre tres estrategias para la gestión de áreas de interés hídrico en el caso de estudio: EPMAPS Quito – Ecuador.

1.3.2. Objetivos específicos

- Aplicar técnicas de análisis multicriterio para toma de decisiones en la gestión de recursos hídricos.
- Seleccionar la mejor estrategia para la gestión de recursos hídricos mediante análisis multicriterio.
- Determinar qué tipo de gestión presenta mejores resultados en términos social, económico y ambiental.
- Maximizar la regulación hídrica en las áreas donde existen recursos hídricos de interés.
- Mejorar la calidad del agua de las fuentes de abastecimiento hídrico.
- Minimizar los costos de inversión y mantenimiento en medidas de conservación.
- Maximizar el acceso al agua a la población de DMQ y áreas de interés.
- Maximizar la satisfacción de la población antes estrategias de conservación.

2. METODOLOGÍA

2.1. Introducción a la teoría de la decisión

La vida del ser humano está fundamentada en la toma de decisiones frente a situaciones cotidianas, tanto en el ámbito laboral como personal; la optimización es una forma de tomar una decisión con la alternativa más factible. A medida que aumenta la complejidad de las decisiones cambia la forma en como son tomadas; se pasa de decisiones guiadas por instinto a decisiones que deben ser guiadas por pensamiento racional. En la teoría de la decisión se establecen los procesos de la toma de decisiones desde una perspectiva racional (Victoriano, 2007).

La toma de decisiones puede entenderse entre lo “mejor” y lo “posible”, según la definición de estos dos parámetros se tiene distintas situaciones de decisión. La optimización clásica se caracteriza en que lo mejor, el objetivo, es único y está claramente determinado (a excepción de optimización multicriterio) y que lo posible, las soluciones factibles, no son expresadas explícitamente, se presentan con restricciones y sin incertidumbre (excepto en optimización estocástica) (Victoriano, 2007).

El término toma de decisiones está asociado con las primeras cinco etapas del proceso de resolución de problemas, inicia con la identificación del problema y culmina con la elección de la alternativa, como se aprecia en la figura 2 (Toskano, 2005).

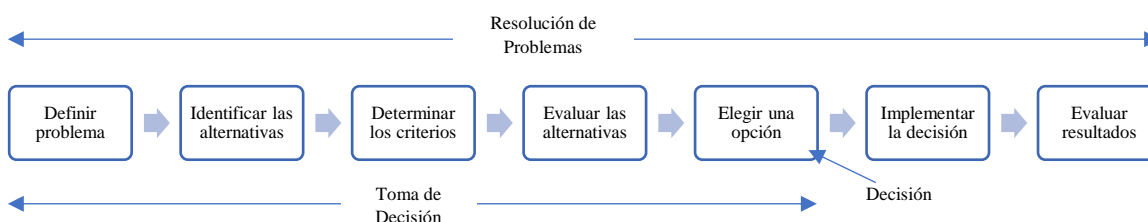


Figura 2. Proceso de resolución de problemas
Fuente: Toskano, 2005

Si se toma como criterio la información disponible, las decisiones pueden clasificarse en tres tipos, los cuales se detalla en la tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de los tipos de decisiones
Fuente: (Peñaloza, 2010)

Tipo de Decisión	Información	Riesgo
Condiciones de certeza	Clara, exacta y completa	Bajo
Condiciones de riesgo	Con probabilidades de ocurrencia	Medio
Condiciones de incertidumbre	Muy escasa o nula	Alto

2.2. Fundamentos del Análisis Multicriterio

El análisis multicriterio o análisis multi objetivo, es una herramienta ampliamente utilizada para la toma de decisiones. En ingeniería de sistemas, puede definirse como una secuencia de actividades donde constantemente es necesario elegir entre distintas alternativas las mismas que deben ser evaluadas en base a diferentes criterios. Es decir, un análisis multicriterio es un instrumento racional y objetivo que ayuda a la comprensión de los procesos de decisión, además de la comparación de varias alternativas en la toma de decisiones (Romero, 1996).

Para mayor comprensión de esta herramienta Romero en 1996 describe cuatro conceptos fundamentales en un análisis multicriterio, los mismo que se detallan a continuación:

- **Atributo:** Son los valores con los que el centro decisor se enfrenta a un determinado problema de decisión, es importante que estos puedan medirse independientemente de los deseos del centro decisor y a su vez sean susceptibles de expresarse como una función de las variables de decisión.
- **Objetivos:** Estos representan mejoras a los atributos, sea maximizando o minimizando los mismos.
- **Nivel de aspiración:** Es el nivel aceptable que alcanzar por cualquiera de los atributos.
- **Meta:** Es la combinación entre un atributo y un nivel de aspiración.
- **Criterio:** Es la unión de los atributos, objetivos y metas que tienen relevancia en el problema de decisión.

Si bien el análisis multicriterio inicialmente fue utilizado en problemas de microeconomía, a partir de la década de los setenta en Estados Unidos se realizaron una serie de estudios donde se manifestó la necesidad, que dentro de la gestión de recursos hídricos se realice una planificación multi objetivo (Mesa et al., 2008).

2.3. Decisiones Multicriterio en certidumbre

Existen varias técnicas para enfrentar estos problemas como: TOPSIS, AHP y ELECTRE. Para el presente estudio se utiliza el método TOPSIS. Estas técnicas o métodos se aplican cuando el conjunto de alternativas es considerado discreto y fácil de tratar y enumerar explícitamente las alternativas posibles.

La Técnica para el Orden de Preferencia por Similitud a Solución (TOPSIS) fue propuesta por Hwang y Yoon en 1981. Esta técnica se basa en el concepto de cercanía a las alternativas ideales y anti-ideales con el fin de establecer un orden. Es un método que automatiza sus condiciones de ejecución, además de ser fácil de calcular, su proceso de normalización es hecho linealmente (Ceballos, et al., 2013; Mayor, et al., 2016). En la figura 3 se detalle el procedimiento del método.

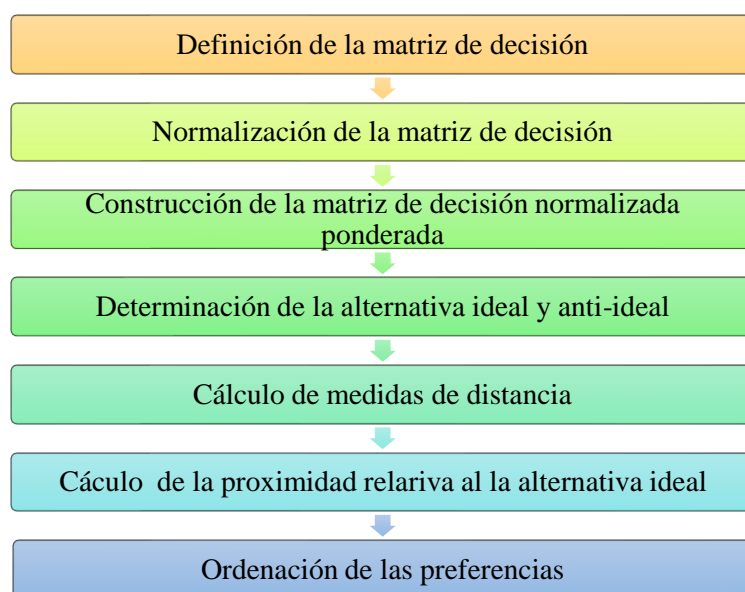


Figura 3. Procedimiento TOPSIS
Fuente: (Arburua, 2017)

2.4. Decisiones con incertidumbre o riesgo

Una de las situaciones más complicadas para la toma de decisiones es cuando las consecuencias de una decisión están sujetan al azar, debido a que la toma de decisiones se realiza con aleatoriedad o incertidumbre en los resultados. Se trata de problemas donde existe falta de información para determinar las consecuencias o el proceso está gobernado por el azar (Peñaloza, 2010; Victoriano, 2007).

- $E = \{E_1, \dots, E_m\}$: conjunto de posibles escenarios.
- $A = \{A_1, \dots, A_n\}$: conjunto de posibles alternativas
- X_{ij} : consecuencia de tomar la decisión A_i y se dé el estado de E_j

A la hora de tomar decisiones en algunos casos se tienen la intervención de las probabilidades.

p_j : probabilidad de se dé el estado E_j (en ocasiones este valor es desconocido)

En las decisiones bajo incertidumbre, las consecuencias dependen de las alternativas y de las incertidumbres (escenarios). A la hora de valorar la utilidad de un conjunto alternativa incertidumbre hay un elemento subjetivo relativo a la afición o aversión a asumir un riesgo. Con lo que la utilidad no tiene por qué ser igual para todos los decisores. Teniendo en cuenta estas consideraciones el proceso de decisión bajo condiciones de incertidumbre tendría las etapas que se muestran en la figura 4:

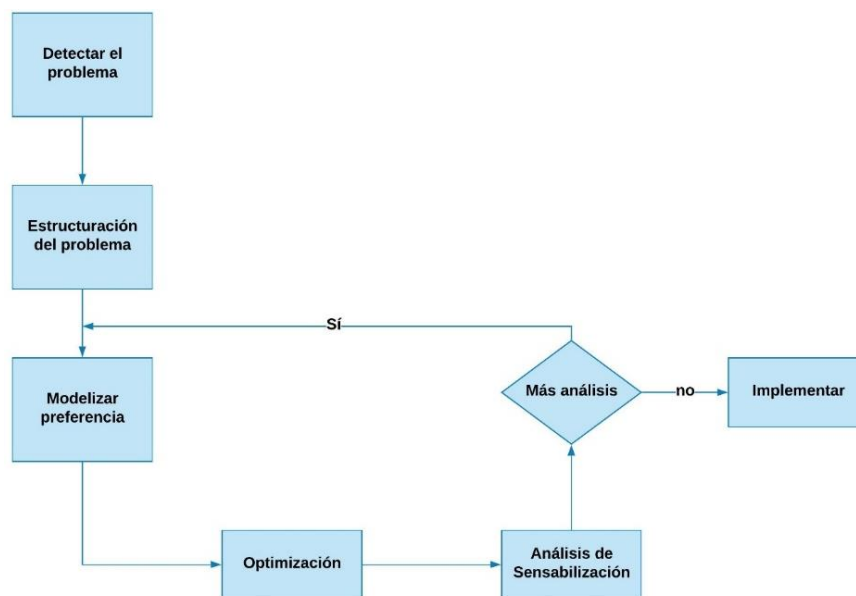


Figura 4. Etapas del proceso de decisión bajo condiciones de incertidumbre

- I. Estructuración del problema:** Esta etapa se interesa de identificar alternativas, incertidumbres y consecuencias.
- II. Modelización de preferencias:** Esta etapa describe las utilidades utilizadas para las diferentes alternativas.
- III. Modelización de creencias:** Esta etapa se refiere a las diferentes probabilidades propuestas a partir de las evidencias (datos/información).

IV. Evaluación de alternativas óptimas y el análisis: En esta etapa al realizar una evaluación de las alternativas óptimas se establece un “conjunto de Pareto” o “Frontera de Pareto”. Cuando realizamos un análisis de sensibilidad, intentamos cambiar las variables sobre sus asignaciones iniciales, para así poder calcular o mejorar nuestras estimaciones.

2.4.1. Valoración

Al momento de valor una decisión con el objetivo de compararla con otras se presentan distintos criterios de valoración, a partir del criterio adoptado se decide cual es la alternativa óptima. Victoriano en 2005 presenta una clasificación de los criterios, según utilicen o no las probabilidades de los distintos estados, dichas clasificaciones se presentan en las tablas 2 y 3.

Tabla 2. Clasificación de criterios de valoración de decisiones sin utilizar probabilidades (en certidumbre)
Adaptado: Victoriano, 2005

Criterios sin utilizar las probabilidades de los estados de la naturaleza	
Criterio de Wald o minimax-maximin o pesimista	- Supuesto que va a pasar lo peor, y se elige aquella alternativa que de mejor resultado
Criterio optimista	- Se supone que pasará lo mejor, y se elige la que dé mejor valor
Criterio de Hurwicz	- No toma en cuenta los riesgos que se corren
	- Combina actitudes pesimistas y optimistas
	- Se valora las alterativas al ponderar entre lo mejor y lo peor posible
Criterio de Savage o costes de oportunidad	- Se selecciona la alternativa con mejor valor
	- Toma en consideración el coste de oportunidad por no prever correctamente el estado de la naturaleza
	- Construcción de matriz de costo de oportunidad, sobre esta matriz se aplica criterios anteriores para la selección de la alternativa

Tabla 3. Clasificación de criterios de valoración de decisiones utilizando probabilidades (bajo incertidumbre)

Adaptado: Victoriano, 2005

Criterios utilizando las probabilidades de los estados de la naturaleza	
Criterio del valor esperados	<ul style="list-style-type: none"> - Seleccionar alternativa cuyo pago esperado o medio sea el mejor - Más común con probabilidades conocidas, no siempre el más apropiado
Criterio de lo más probable	<ul style="list-style-type: none"> - Elegir la alternativa con mejor valor para el estado más probable. - Se utiliza en proceso no iterativos
Criterio del escenario medio	<ul style="list-style-type: none"> - Se establece cuando el espacio de estados es numérico - Distribuciones continuas - No muy aconsejable (escenario medio dista mucho de escenarios reales)

Dado que no siempre las alternativas tienen pagos cuantificables, y cuando lo son el valor numérico que se da a una cantidad no siempre es proporcional a ella; para estos casos se hace referencia a la utilidad, que es una valoración personal de una cantidad que no varía proporcional al importe de esa cantidad. Se trata de un índice personal del decisor, que resume la importancia que esa persona asocia a diferentes cantidades (Victoriano, 2007).

2.4.2. Herramientas informáticas utilizadas

En la actualidad existen una gran variedad de programas informáticos para realizar análisis multicriterio en condiciones de certidumbre, aplicando además múltiples metodologías aceptadas como: TOPSIS, AHP, ELECTRE. Muy pocos de estos programas permiten realizar estudios en condiciones de incertidumbre.

Para el desarrollo del presente estudio se utilizó una hoja de cálculo, para el análisis multicriterio en condiciones de certidumbre, aplicando la metodología TOPSIS y el programa GeNIe 2.0 para el análisis de decisiones considerando condiciones de incertidumbre en un entorno de desarrollo para la construcción de modelos gráficos probabilísticos.

Los modelos gráficos probabilísticos, también conocidos como redes bayesianas (RB), son modelos estadísticas, que debido a su flexibilidad son aplicadas en varios campos. Se

emplean para resolver fenómenos probabilísticos complejos con algún grado de incertidumbre (Sánchez, et al., 2015).

En las RB los nodos representan las variables aleatorias mientras que los arcos muestran las relaciones de dependencia directa entre las variables, generalmente estas representaciones se las realiza mediante gráficos. La variable a la que apunta un arco es la dependiente a la variable de origen y esta a su vez puede tener variables que dependan de ella, por este motivo una variable no puede tener dependencia con otra en ambos sentidos, es así, que las RB son consideradas como gráficos acíclicos (Sánchez et al., 2015; Sucar, s. f.).

GeNIe fue desarrollado en el Laboratorio de Sistemas de Decisión de la Escuela de Ciencias de la Información en la Universidad de Pittsburg, posteriormente BayesFusion adquirió la licencia continuando con la misma visión con la que fue creado, cabe destacar que se han desarrollado módulos gratuitos para investigación no comercial, docencia y uso personal (Druzdzel, 1999).

Para resolución de problemas de decisión bajo incertidumbre, GeNIe permite considerar nodos de: incertidumbre, determinístico, decisión y valor, representados como se muestra en la figura 5.

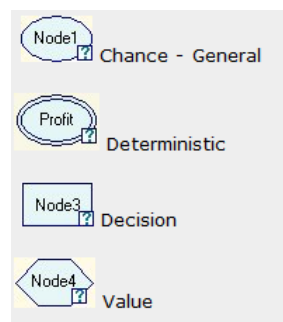


Figura 5. Tipos de nodos de GeNIe

2.5. Caso de Estudio

La EPMAAPS cuenta con varios sistemas de abastecimiento hídrico que sirve para satisfacer las necesidades de la ciudad, tiene como objetivo suministrar de agua potable a cerca de 2,6 millones de habitantes del DMQ, para lo cual ha implementado diferentes alternativas para proteger y conservar las fuentes de agua que abastecen a la ciudad.

Con el fin de preservar las fuentes de agua se han promovido estrategias de conservación relativas a la gestión de áreas de interés hídrico y de esta forma potenciar la conservación de los recursos naturales para la protección de fuentes de agua a largo plazo en estas zonas.

Actividades como: control y vigilancia, restauración de la cobertura vegetal, monitoreo permanente de variables biofísicas, investigación, sensibilización ambiental, retiro de disturbios antrópicos, entre otras, se realizan de forma diferente o con diferente intensidad dependiendo del tipo de gestión (Osorio, 2017).

El análisis se hace desde el punto de vista de EPMAPS, que como empresa pública no tiene como único objetivo la consecución de beneficios económicos, sino también garantizar el suministro de agua potable, tanto en calidad como en cantidad, mantener buenas relaciones con todos los actores involucrados en el abastecimiento de agua potable.

2.5.1. Áreas de estudio

Para el desarrollo del presente trabajo se han elegido dos zonas de gran importancia para el abastecimiento de agua potable del DMQ y en las cuales se puede observar dos tipos de estrategias de conservación de recursos hídricos, manejo privado y manejo comunitario. Las áreas seleccionadas para realizar este análisis son: Predio Antisana y Comunidad Oyacachi.

2.5.1.1. Predio Antisana

El predio Antisana – Contadero fue adquirido por la EPMAPS en 2011, con el objetivo lograr un manejo integral de las microcuencas aportantes al sistema de agua potable, posteriormente en 2016, FONAG con el fin de ampliar la zona de protección y disminuir las presiones ejercidas en las microcuencas de interés adquiere el predio Jatunhuayco. Para el desarrollo del presente estudio se hará referencia a ambos predios con el nombre de predio Antisana. Este predio protege a las cuencas que abastecen al Sistema La Mica – Quito Sur, que dota del recurso hídrico a cerca de 600.000 habitantes de la zona sur del DMQ, este sistema está conformado por el embalse La Mica y ocho microcuencas aportantes.

En la figura 6 se presenta la ubicación y principales características de predio Antisana.

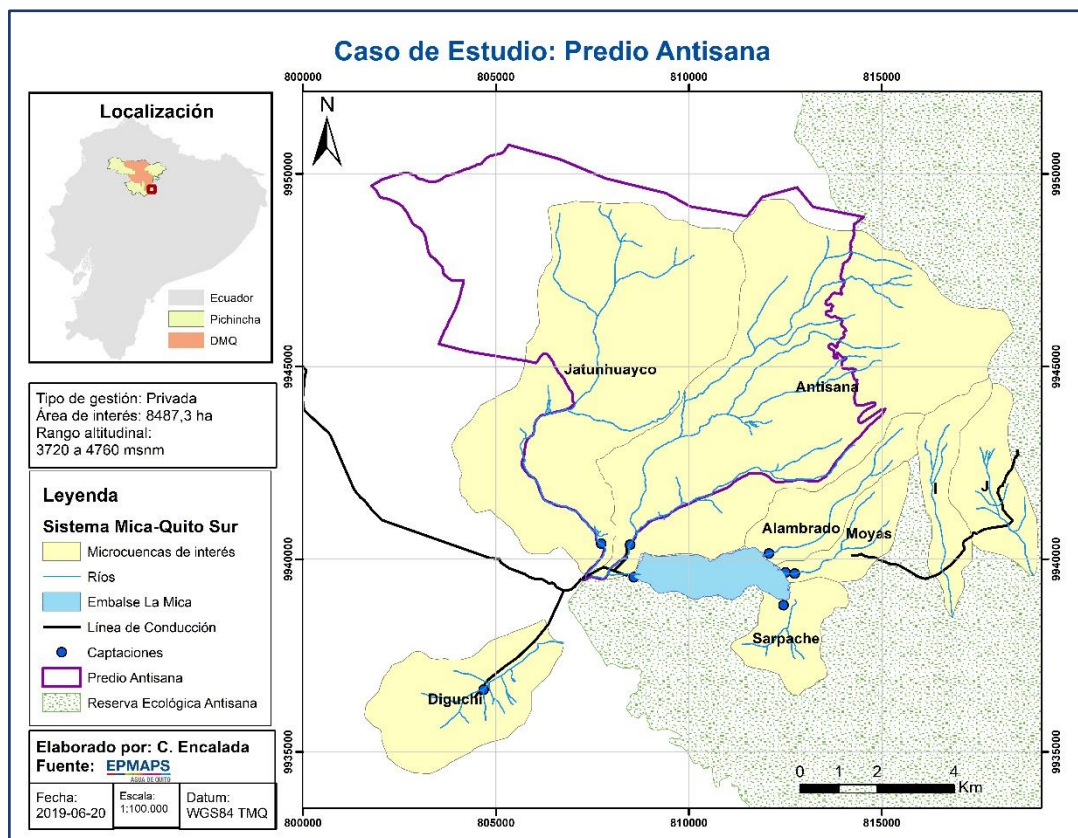


Figura 6. Localización Predio Antisana

Antes de la compra del predio Antisana, esta área estaba destinada para pastoreo intensivo y extensivo con ganado vacuno, equino y vacuno, lo que significaba un riesgo potencial a las fuentes de agua tanto en cantidad y calidad (Roger, 2007). Es por esta razón que a partir de la compra del predio Antisana se han realizado distintas actividades para restablecer este ecosistema y así garantizar el recurso hídrico; es importante destacar que el Predio Antisana limita con la Reserva Ecológica Antisana (REA).

2.5.1.2. Comunidad de Oyacachi

La comunidad de Oyacachi es una comuna ancestral propietaria de áreas inmersas en el PNCC y donde también se encuentra un sistema de agua potable de la EPMAPS. Está ubicada en la parroquia con el mismo nombre en la provincia de Napo. Dentro de esta parroquia se encuentran varias captaciones de interés para la Empresa y el Embalse Salve Faccha, ambos son recursos hídricos que abastecen al Sistema Integrado Papallacta que sirve a 1.000.000 habitantes aproximadamente. El Sistema Integrado Papallacta está conformado

por tres embalses y varias captaciones, para el presente estudio únicamente se analizará el embalse de Salve Faccha que se encuentra en la parroquia de Oyacachi.

En la figura 7 se presenta la ubicación y principales características de la Comunidad de Oyacachi.

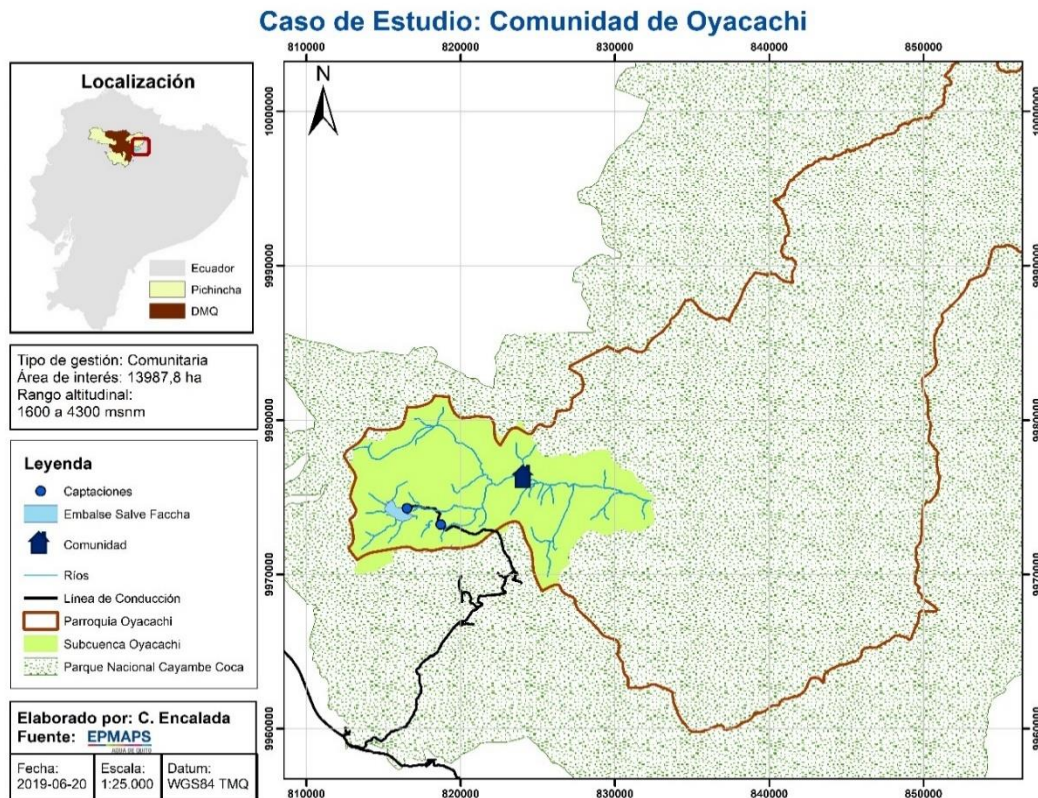


Figura 7. Localización Comunidad de Oyacachi

Desde el año 2000 la EPMAPS realiza negociaciones con Oyacachi por el aprovechamiento de sus recursos, en 2010 se intensifican estas negociaciones donde se establece la construcción de un sistema de agua potable, líneas de alcantarillado y la construcción de una planta de tratamiento de agua residual a cambio la comunidad de comprometer a tomar las medidas necesarias para proteger las fuentes de agua de interés (Osorio, 2017).

3. EL PROBLEMA DE DECISIÓN EN EPMAPS QUITO

3.1. Descripción

Como ya se ha mencionado antes, la EPMAPS abastece al DMQ del líquido vital, para lo cual es necesario la conservación las fuentes de agua, tanto en calidad como en cantidad, es por eso, el constante interés de contar con estrategias es sirvan para la protección de los recursos hídricos que abastecen al DMQ. Si bien, en los últimos años se han implementado estrategias como la gestión privada y la gestión comunitaria necesario evaluar la efectividad de estas, para que puedan ser consideradas en otros sistemas de la Empresa y así contar con mecanismos de acción que garanticen la disponibilidad del agua para Quito, tomando en cuenta criterios ambientales, sociales y económicos.

Hay que resaltar qué estrategias se realizaron sin un análisis a priori de cual serían los resultados de la implementación de una u otra gestión; sin embargo, es válido y necesario realizar este tipo de análisis después de su implementación y con eso determinar qué tipo de gestión presenta mejores resultados.

3.2. Estructuración del problema de decisión

3.2.1. Alternativas

Sin Gestión (SG): Una de las alternativas y aparentemente la más sencilla es la de no realizar ninguna acción de conservación en las zonas donde se encuentran las fuentes de abastecimiento de agua. Al no tomar ninguna medida para proteger estas fuentes, se corre el riesgo que se vean afectadas por actividades antrópicas, lo que influye tanto en la cantidad como en la calidad de agua. Si bien esta alternativa en primera instancia representa un ahorro para la Empresa, a futuro, se podría incrementar los costos en el tratamiento y distribución de agua potable. En cuanto a la parte social se podría evitar conflictos con las comunidades que no estén de acuerdo con las medidas de protección; sin embargo, también disminuiría los beneficios obtenidos con estas acciones.

Gestión Privada (GP): Entre las estrategias que se pueden implementar para la conservación de recursos se tiene la gestión privada o manejo comunitario. La primera consiste en la restricción de acceso con el fin de garantizar la conservación y sustentabilidad de los

recursos, aplicando los principios establecidos por Hardin en 1968. Esta medida se basa principalmente en la adquisición de predios destinados a la conservación del agua. Para este estudio se toma como el ejemplo al Predio Antisana, adquirido en 2010 por la EPMAPS. El principal objetivo es contar con una autonomía absoluta para el manejo y conservación de los recursos naturales de estas zonas, a través de políticas de restricción de acceso y distintas actividades para precautelar la calidad del ecosistema y así asegurar la protección de fuentes de agua a largo plazo.

Gestión Comunitaria (GC): Dado que no en todos los casos se puede efectuar una gestión privada, otra estrategia que la EPMAPS ha implementado para proteger a las fuentes de agua de interés, es la gestión comunitaria, lo que se busca es conservar las condiciones ambientales a través de acuerdo y/o normas entre los principales actores de un espacio físico, sin necesidad de llegar a la restricción de acceso (Ostrom, 1999) como ejemplo se analiza el caso de la comunidad Oyacachi que se encuentra dentro del PNCC y parte del Sistema Integrado Papallacta. Este tipo de gestión se la realiza a través de acuerdos y convenios de conservación a largo plazo con la comunidad para que pueda desarrollar sus actividades cotidianas, pero a su vez conserve la calidad y cantidad de agua de las fuentes de abastecimiento, con el fin de asegurar la disponibilidad del recurso hídrico para la ciudad de Quito (Osorio, 2017).

3.2.2. Criterios

Para la comparación entre los tipos de gestión se determina tres criterios: ambiental, económico y social.

3.2.2.1. Criterio Ambiental

Para la valoración del criterio ambiental se busca maximizar la calidad y cantidad de agua, para lo cual se analiza el recuento de *Escherichia coli* (E. coli) y el porcentaje de regulación hídrica en las zonas de estudio.

Regulación hídrica: Uno de los objetivos de realizar gestión privada o comunitaria es mejorar la regulación hídrica dentro de las cuencas hidrográficas que abastecen de agua a la ciudad de Quito, para lo cual se realizan medidas de restauración de la cobertura vegetal y

disminución de presiones antrópicas. La regulación hídrica es medida a través del Índice de Regulación Hídrica (IRH), consiste principalmente que la cuenca o área de interés sea capaz de mantener relativamente constante el volumen del embalse o el caudal de río en diferentes regímenes de precipitación. Para el presente análisis se toma como referencia el IRH calculado a por Osorio en 2017 en ambas áreas.

Recuento de E. Coli: Se utiliza el parámetro microbiológico E. Coli, que está presente en heces de animales y humanas; debido a la presencia de ganado cerca de las fuentes existe una alta concentración de este parámetro. En Ecuador no se norma el Límite Máximo Permisible (LMP) de E. coli para consumo humano; sin embargo, la OMS y la EPA recomienda ausencia de este parámetro. Para el presente análisis se utiliza el recuento de colonias de E. Coli en las fuentes de agua medida por la EPMAAPS, en el período 2000 a 2018.

3.2.2.2. Criterio Económico

Si bien el principal objetivo de la Empresa es conservar y proteger las fuentes de agua que abastecen al DMQ, es importante conocer qué tipo de gestión le representa menos costos, por lo que en el criterio económica se busca minimizar los costos de inversión y mantenimiento requeridos para la conservación de áreas de interés hídrico.

Costos de inversión: En la gestión privada se han realizado inversiones relacionadas a la compra del predio e inversiones posteriores en el mismo, para el caso de gestión comunitaria se hace referencia a la inversión en la provisión de obras hidráulicas para la dotación de agua potable, proyectos productivos y otras compensaciones económicas.

Costos de mantenimiento: En ambos casos el objetivo es la conservación de los recursos hídricos para lo cual, es necesario realizar gastos adicionales a la inversión inicial, estos gastos se distribuyen para las siguientes actividades: salarios de guardapáramos (guardianes del ecosistema paramo) y técnicos, compra de bienes, costos operativos, investigación, restauración de la cobertura vegetal, entre otras.

Tanto la inversión como el mantenimiento puede ser representado por la suma total de los gastos realizados en cada gestión, así como también por el costo total dividido para área intervenida representado por hectáreas.

3.2.2.3. *Criterio Social*

El objetivo en el criterio social es maximizar la satisfacción de la población (mejorar Relación EPMAPS – Comunidad), la misma que está determinada a través de: el acceso a agua potable y percepción de la población en relación a las acciones de conservación que realiza la EPMAPS.

Acceso a agua potable: Como medida de compensación a las medidas tomadas en ambos tipos de gestión, se realiza acciones para incrementar el acceso a agua potable de la población del área de interés o población aledaña. Para el caso de gestión privada se mejoró y aumentó el número de conexiones de agua potable en la parroquia rural de Pintag. En cuanto a la comunidad de Oyacachi se dotó de infraestructura adecuada para el abastecimiento de agua potable, que en años anteriores era escasa y deficiente (Osorio, 2017)

Percepción social: Lo que se busca principalmente es tener buenas relaciones con la población o comunidad, que permitan y faciliten el accionar de la Empresa, para la implementación de cualquier tipo de gestión. Este nivel de percepción se mide a través de encuestas para conocer el estado de satisfacción de la comunidad y los hacendados en relación a las medidas tomadas por la EPMAPS tanto en Antisana como en Oyacachi.

3.2.3. *La Matriz de Decisión*

Tanto si se considera que el problema de decisión está sujeto o no a incertidumbre, las alternativas y los criterios que se considera son los mismos. Con lo que la matriz de decisión, correspondiente al problema planteado, sería la que se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Matriz de Decisión

<i>Criterios</i>	Ambiental		Económico		Social	
<i>Sub-Criterios</i>	Cantidad de Agua	Calidad de Agua	Costo Inversión	Costo Mantenimiento	Percepción Social	Acceso al Agua
<i>Objetivo</i>	<i>Maximizar</i>	<i>Maximizar</i>	<i>Minimizar</i>	<i>Minimizar</i>	<i>Maximizar</i>	<i>Maximizar</i>
<i>Indicador</i>	<i>%IRH</i>	<i>E. coli</i>	<i>Inversión</i>	<i>Mantenimiento</i>	<i>Encuesta</i>	<i>%Cobertura</i>
<i>Subobjetivo</i>	<i>Maximizar</i>	<i>Minimizar</i>	<i>Minimizar</i>	<i>Minimizar</i>	<i>Maximizar</i>	<i>Maximizar</i>
ACCIONES						
SG	-	-	-	-	-	-
GC	Restauración cobertura vegetal	Disminución densidad animal y presión antrópica	Cumplimiento convenios Infraestructura agua potable	Salarios, investigación, restauración de la cobertura vegetal	Cambio de actividad económica, talleres nuevas ocupaciones	Suministro a 60% más de población
GP	Restauración cobertura vegetal	Control de Acceso Disminución densidad animal y presión antrópica	Compra predio	Salarios, compra de bienes, costos operativos, investigación, restauración de la cobertura vegetal	Cambio de actividad económica	Suministro agua potable a 10% más de la población

Es importante mencionar que las acciones de restauración de la cobertura vegetal son más intensivas en la gestión privada, debido a que se tiene autonomía absoluta y es más sencillos realizar estas medidas en un área privada. De igual manera, restringir el acceso y la baja de carga animal, son medidas que tiene mayor impacto en la gestión privada y que están directamente relacionadas con la mejora de la calidad de agua.

En cuanto a la percepción social, al tratarse de una calificación cualitativa es necesario escalar esta variable lingüística a una variable numérica. Este escalamiento está representado en la tabla 5.

Tabla 5. Representación numérica de la encuesta de percepción social

Opinión		SG	GP	GC
Buena	4	0,1	0,2	0,5
Moderada	3	0,4	0,4	0,1
Regular	2	0,4	0,4	0,2
Mala	1	0,1	0	0,2
Valor		2,5	2,8	2,9

Para el subcriterio de Cantidad de agua, a través de una investigación realizada por Osorio en 2015, donde se determinó el IRH para las cuencas de interés dentro del Predio Antisana y la Comunidad de Oyacachi, se estimó los resultados que se presentan en la tabla 6. Estos resultados corresponden al IRH que presenta cada tipo de gestión. Es importante mencionar que el IRH se determinó para el caso de gestión privada en Antisana y para la gestión comunitaria en Oyacachi; por lo cual se extrapolaron los resultados de un área a la otra, asumiendo que se tendrán similares comportamientos dependiendo principalmente del tipo de gestión con independencia de la zona geográfica.

Tabla 6. Valores IRH [%]

Zona \ Tipo de Gestión	Sin Gestión	Gestión Privada	Gestión Comunitaria
	[%]	[%]	[%]
Antisana	61	89	91
Oyacachi	40	68	70

En cuanto al subcriterio de calidad de agua se hace referencia a un análisis de una serie de tiempo desde 2001 a 2018, de la calidad biológica de agua, mediante el conteo de E. coli

representado por el Número Más Probable de colonias (NMP) en 100 ml de muestra, de las captaciones de la EPMAPS ubicadas en las áreas de Antisana y Oyacachi; estas mediciones corresponden a monitoreos puntuales varias veces al año. Se estimaron los resultados que se presentan en la tabla 7. De igual manera como el caso de IRH, se extrapolan los resultados de un área a la otra, asumiendo que se tendrán similares comportamientos dependiendo principalmente del tipo de gestión con independencia de la zona geográfica.

Tabla 7. Recuento de *E. coli* representado por el NMP/100ml

Tipo de Gestión Zona	Sin Gestión [NMP/100ml]	Gestión Privada [NMP/100ml]	Gestión Comunitaria [NMP/100ml]
Antisana	348,6	61	94,1
Oyacachi	17,1	2,9	4,3

El subcriterio de Costo de Inversión se lo determina mediante balances financieros de FONAG y EPMAPS se determina la inversión realizada en cada tipo de gestión, esta fue destinada a una superficie específica, sea en Antisana o en Oyacachi. La inversión inicial realizada en Antisana (gestión privada) fue de 3.680.000 USD en 8.487,3 ha; para el caso de Oyacachi se tiene una inversión inicial de 867.124 USD en 13.987,8 ha (Osorio, 2017). A partir de estos datos se estima la inversión inicial, los resultados se presentan en la tabla 8.

Tabla 8. Inversión realizada por tipo de gestión en cada área de estudio [USD/ha]

Tipo de Gestión Zona	Sin Gestión [USD/ha]	Gestión Privada [USD/ha]	Gestión Comunitaria [USD/ha]
Antisana	0	433,6	70
Oyacachi	0	433,6	70

Al igual que el subcriterio anterior, se determina el gasto de mantenimiento anual en base a los balances financieros de FONAG y EPMAPS. Para Antisana, el gasto anual promedio de mantenimiento es de 1.260.000 USD y para Oyacachi es 826.000 USD. A partir de estos valores se estima el gasto anual promedio de mantenimiento por hectárea, los resultados se presentan en la tabla 9.

Tabla 9. Gasto de mantenimiento anual [USD/ha]

Tipo de Gestión	Sin Gestión	Gestión Privada	Gestión Comunitaria
------------------------	--------------------	------------------------	----------------------------

Zona	[USD/ha]	[USD/ha]	[USD/ha]
Antisana	0	148,5	59,1
Oyacachi	0	148,5	59,1

El análisis del subcriterio de percepción social se lo realiza a través de encuestas realizadas en 2015 por Osorio, para conocer el estado de satisfacción de la comunidad y los hacendados en relación a las medidas tomadas por la EPMAPS, tanto en Antisana como en Oyacachi, se puede obtener los resultados que se presenta en la tabla 10.

Tabla 10. Resultados de la encuesta de percepción social

Tipo de Gestión	Sin Gestión	Gestión Privada	Gestión Comunitaria
Percepción	[% habitantes]	[% habitantes]	[% habitantes]
Buena	10	20	50
Moderada	40	40	10
Regular	40	40	20
Mala	10	0	20

Como medida de compensación a las medidas tomadas en ambos tipos de gestión, se realiza acciones para incrementar el acceso a agua potable de la población, esta medida es analizada en el subcriterio de Acceso al Agua. Los resultados del incremento al acceso a agua potable en cada tipo de gestión se representan mediante el porcentaje de población con acceso a agua potable, en la tabla 11.

Tabla 11. Porcentaje de población con acceso a agua potable [%]

Tipo de Gestión	Sin Gestión	Gestión Privada	Gestión Comunitaria
Zona	[%]	[%]	[%]
Antisana	70	80	100
Oyacachi	0	10	60

Con base a la información de las tablas anteriores, las alternativas, los criterios y subcriterios de análisis, se ha generado las siguientes tablas de decisión (ver tablas 12 y 13) considerando que no hay incertidumbre en el problema.

Los valores las columnas “Cantidad” y “Calidad” de los subcriterios cantidad y calidad de agua (criterio ambiental) proceden de las tablas 6 y 7 respectivamente. Los valores de las

columnas “C. Inversión” y “C. Mantenimiento” de los subcriterios costo de inversión y mantenimiento (criterio económico) proceden de las tablas 8 y 9 respectivamente. Finalmente, los valores de los subcriterios de percepción social y acceso al agua (criterio social) proceden de las tablas 10 y 11 respectivamente y se establecen en las columnas “Percepción” y “Acceso”.

Tabla 12. Matriz de decisión: Antisana

	Cantidad	Calidad	Cost Inv	Cost Mant	Percep Soc.	Acceso Agua
SG	61	348,6	0	0	2,5	70
GC	91	94,1	70	59,1	2,9	100
GP	89	61	433,6	148,5	2,8	80
Peso	0,167	0,167	0,167	0,167	0,167	0,167

Tabla 13. Matriz de decisión: Oyacachi

	Cantidad	Calidad	Cost Inv	Cost Mant	Percep Soc.	Acceso Agua
SG	40	17,1	0	0	2,5	0
GC	70	4,3	70	59,1	2,9	60
GP	68	2,9	433,6	148,5	2,8	10
Peso	0,167	0,167	0,167	0,167	0,167	0,167

3.2.4. Incertidumbres

Varios elementos que se incluyen en el análisis de este problema están sujetos a un grado de incertidumbre, puede ser este mayor o menor dependiendo de cada caso. Al tratarse de un problema del mundo real no es posible asegurar la certeza de los eventos. Entre los elementos que están sujetos a incertidumbre se tiene:

- La disponibilidad de agua, ya que depende de la cantidad y distribución de la precipitación anual, además de otros parámetros meteorológicos no controlables. El tipo de gestión es importante para que a pesar de las incertidumbres (principalmente climáticas) exista disponibilidad de agua.
- La calidad del agua tiene cierto componente aleatorio no controlable, aunque lógicamente la gestión también influye sobre la misma, ya que se reduce las presiones antrópicas que pudieran afectar a la calidad.
- Los costos de inversión y mantenimiento, a pesar de que estos costos fueran exactamente los presupuestados, la realidad es que suele ser muy difícil estimar con

precisión cuáles serán los gastos necesarios para el desarrollo de este tipo de proyectos, además de la contar con la disponibilidad de estos.

- La percepción social de la población es otro de los elementos sujetos a incertidumbre, ya que la forma en la que se gestiona les afectara en una u otra medida, y es incierto cual será grado de aceptación de usuarios y afectados.

3.3. Modelización de creencias

Para la resolución del caso de estudio presentado, se realizó un diagrama modelizado en Genie (ver figura 9), donde se puede observar que la utilidad total se define por seis nodos de valor: Cantidad de agua, Calidad de agua, Costo de Inversión, Costo de Mantenimiento, Percepción Social y Acceso a Agua Potable.

Los nodos de valor se determinan a partir de seis nodos de azar:

- Regulación Hídrica: intervalo de probabilidad en función del IRH.
- Concentración de E. coli: intervalo de probabilidad en función de la concentración de E. coli registrada.
- Inversión: intervalo en función de la probabilidad del gasto de inversión realizado por hectárea.
- Mantenimiento: intervalo en función de la probabilidad del gasto de mantenimiento anual realizado por hectárea.
- Percepción social: en función de la probabilidad del porcentaje de aceptación.
- Población servida: intervalo en función de la probabilidad de aumento de acceso a agua potable.

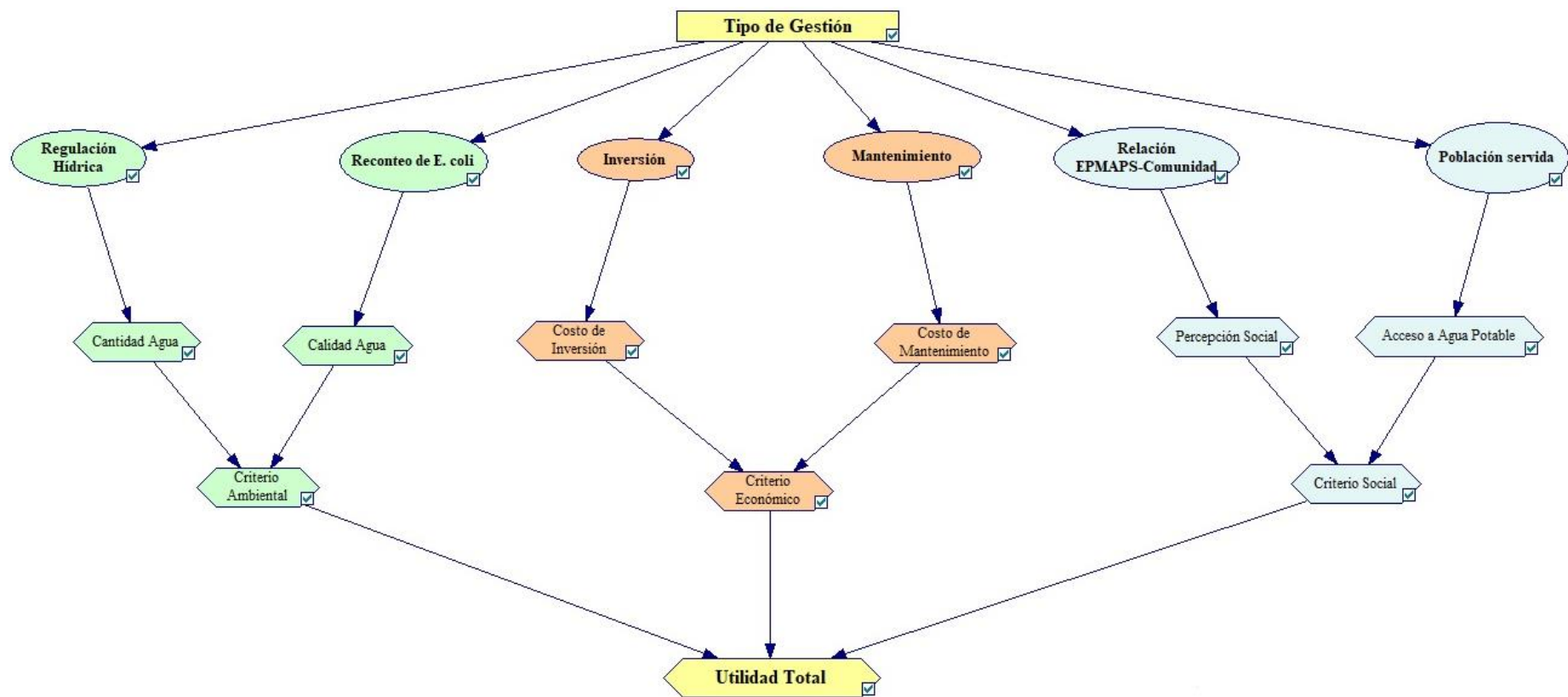


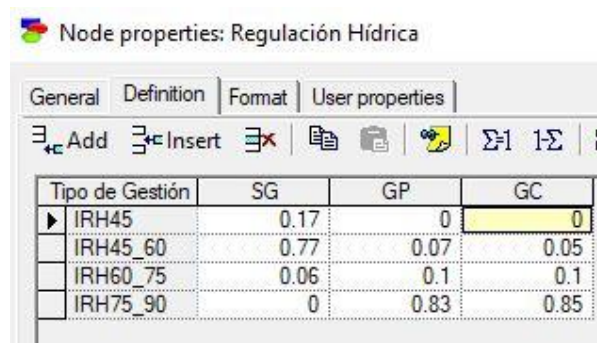
Figura 8. Diagrama modelizado en GeNIe

3.3.1. Nodos de Azar: Regulación Hídrica

Con base a la información de la tabla 6 se han estimado las probabilidades que fueron ingresadas en GeNIe (ver figura 9) para el nodo de incertidumbre relativo a la regulación hídrica, en función a los intervalos que se presentan en la tabla 14.

Tabla 14. Intervalos definidos para el nodo de regulación hídrica

Nodo de Azar	Intervalo		Observaciones
Regulación Hídrica [%]	IRH45	$IRH < 45$	Poca regulación hídrica
	IRH45_60	$45 < IRH < 60$	
	IRH60_75	$60 < IRH < 75$	
	IRH75_90	$75 < IRH < 90$	Situación de mejor regulación hídrica



Tipo de Gestión	SG	GP	GC
IRH45	0.17	0	0
IRH45_60	0.77	0.07	0.05
IRH60_75	0.06	0.1	0.1
IRH75_90	0	0.83	0.85

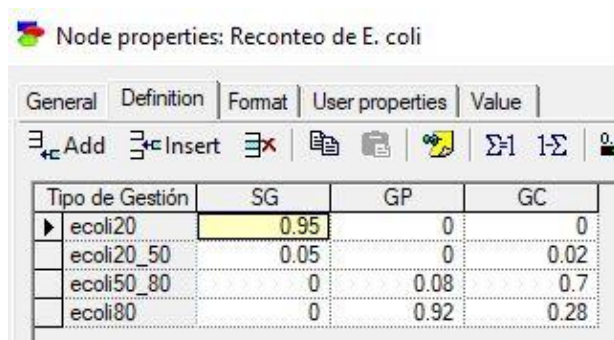
Figura 9. Probabilidades de ocurrencia de los intervalos de IRH

3.3.2. Nodos de Azar: Recuento de *E. coli*

Con base a la información de la tabla 7 se han estimado las probabilidades que fueron ingresadas en GeNIe (ver figura 10) para el nodo de incertidumbre relativo a la regulación hídrica, en función a los intervalos que se presentan en la tabla 15. Los intervalos fueron determinados en base al porcentaje de reducción de colonias de *E. coli*, dado a que los valores presentados en la tabla 6 difieren sustancialmente entre una zona y otra.

Tabla 15. Intervalos definidos para el nodo de recuento de *E. coli*

Nodo de Azar		Intervalo	Observaciones
Reconteo de <i>E. coli</i> [NMP] / 100 ml	ecoli20	Reducción <i>E. coli</i> < 20 %	Poca o nula reducción de <i>E. coli</i>
	ecoli20_50	Reducción <i>E. coli</i> 20 - 50 %	
	ecoli50_80	Reducción <i>E. coli</i> 50 – 80 %	
	ecoli80	Reducción <i>E. coli</i> > 80 %	Alta reducción de <i>E. coli</i> (situación deseada)



Tipo de Gestión	SG	GP	GC
ecoli20	0.95	0	0
ecoli20_50	0.05	0	0.02
ecoli50_80	0	0.08	0.7
ecoli80	0	0.92	0.28

Figura 10. Probabilidades de ocurrencia de los intervalos de *E. coli*

3.3.3. Nodos de Azar: Inversión

Con base a la información de la tabla 8 se han estimado las probabilidades que fueron ingresadas en GeNIe (ver figura 11) para el nodo de incertidumbre relativo a la regulación hídrica, en función a los intervalos que se presentan en la tabla 16.

Tabla 16. Intervalos definidos para el nodo de inversión

Nodo de Azar		Intervalo	Observaciones
Inversión [USD/ha]	Inv_0	Inversión = 0	No se requiere inversión
	Inv0_100	$0 < \text{Inversión} \leq 100$	Baja inversión
	Inv100_200	$100 < \text{Inversión} \leq 200$	Inversión media
	Inv200_500	$200 < \text{Inversión} \leq 500$	Alta inversión

Node properties: Inversión

Tipo de Gestión	SG	GP	GC
Inv_0	1	0	0
Inv0_100	0	0.02	0.9
Inv100_200	0	0.08	0.09
Inv200_500	0	0.9	0.01

Figura 11. Probabilidades de ocurrencia de los intervalos de inversión

3.3.4. Nodos de Azar: Mantenimiento

En base a la información de la tabla 9 se han estimado las probabilidades que fueron ingresadas en GeNIe (ver figura 12) para el nodo de incertidumbre relativo al mantenimiento, en función a los intervalos que se presentan en la tabla 17.

Tabla 17. Intervalos definidos para el nodo de mantenimiento

Nodo de Azar	Intervalo	Observaciones
Mantenimiento [USD/ha]	Man_0	Mantenimiento = 0 No se requiere mantenimiento
	Man0_60	$0 < \text{Mantenimiento} \leq 60$ Bajo costo de mantenimiento
	Man60_120	$60 < \text{Mantenimiento} < 120$ Costo medio de mantenimiento
	Man_120	Mantenimiento > 0 Alto costo de mantenimiento

Node properties: Mantenimiento

Tipo de Gestión	SG	GP	GC
Man_0	0.97	0	0
Man0_60	0.03	0.02	0.9
Man60_120	0	0.08	0.1
Man_120	0	0.9	0

Figura 12. Probabilidades de ocurrencia de los intervalos de mantenimiento

3.3.5. Nodos de Azar: Percepción EPMAPS – Comunidad

La información de la tabla 10 se utiliza para las probabilidades correspondiente al nodo de incertidumbre de percepción social (ver figura 13).

Node properties: Relación EPMAPS-Comunidad

Tipo de Gestión	SG	GP	GC
Buena	0.1	0.2	0.5
Moderada	0.4	0.4	0.1
Regular	0.4	0.4	0.2
Mala	0.1	0	0.2

Figura 13. Probabilidades de ocurrencia de los intervalos de percepción social

3.3.6. Nodos de Azar: Población servida

En base a la información de la tabla 11 se han estimado las probabilidades que fueron ingresadas en GeNIe (ver figura 13) para el nodo de incertidumbre relativo al acceso de agua potable, en función a los intervalos que se presentan en la tabla 18.

Tabla 18. Intervalos definidos para el nodo población servida.

Nodo de Azar	Intervalo	Observaciones
Población servida	PS20 Acceso Agua < 20	Escaso acceso a agua potable
	PS20_50 20 < Acceso Agua < 50	
	PS50_70 50 < Acceso Agua < 70	Situación deseada, máximo acceso a agua potable
	PS70_100 70 < Acceso Agua < 100	

Node properties: Población servida

Tipo de Gestión	SG	GP	GC
Acceso25	0.3	0.15	0.02
Acceso25_50	0.67	0.5	0.03
Acceso50_75	0.03	0.3	0.15
Acceso75_100	0	0.05	0.8

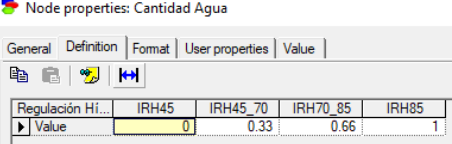
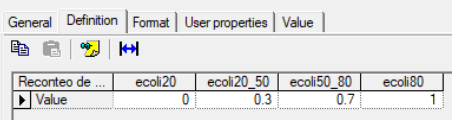
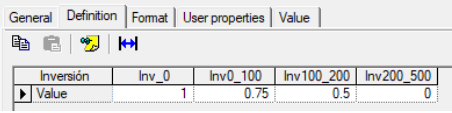
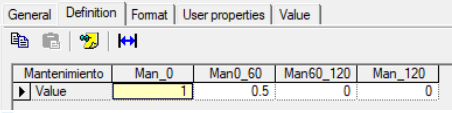
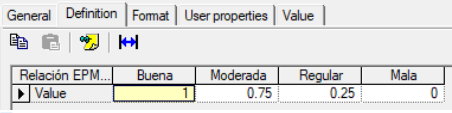
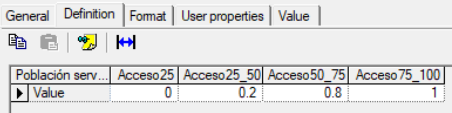
Figura 14. Probabilidades de ocurrencia de los intervalos de acceso a agua

3.4. Modelización de preferencias

La modelización de las preferencias se la realizará mediante funciones de utilidad, definidas decisor. Las utilidades en cada subobjetivo y la utilidad total son definidas por un rango de

0 – 1, siendo 1 el valor que representa mejores resultados. En la tabla 19, se presenta un resumen de la utilidad establecida en cada subobjetivo y su representación en GeNIe.

Tabla 19. Función de utilidad para cada subobjetivo

Subobjetivo	Utilidad		GeNIe
	Máxima	Mínima	
Cantidad de agua	$U(\text{IRH75_90}) = 1$	$U(\text{IRH} < 45) = 0$	
Calidad de agua	$U(\text{ecoli} > 80) = 1$	$U(\text{ecoli} < 20) = 0$	
Inversión	$U(\text{Inv}=0) = 1$	$U(\text{Inv200_500}) = 0$	
Mantenimiento	$U(\text{Man}=0) = 1$	$U(\text{Man200_500}) = 0$	
Percepción social	$U(\text{Buena}) = 1$	$U(\text{Mala}) = 0$	
Población servida	$U(\text{Acceso75_100}) = 1$	$U(\text{Acceso} < 25) = 0$	

3.4.1. Subobjetivo Cantidad de Agua

En este subobjetivo la utilidad máxima será correspondiente con “IRH75_90”, y la menor utilidad se corresponde con “IRH<45”. Por lo tanto: $U(\text{IRH75_90}) = 1$ y la $U(\text{IRH} < 45) = 0$. Como se está hablando de la cantidad de agua esta función será creciente.

3.4.2. Subobjetivo Calidad de Agua

En este subobjetivo la utilidad máxima será la que se corresponde con “ecoli20”, y la menor utilidad se corresponde con “ecoli80”. Por lo tanto, la utilidad estará dada de la siguiente manera $U(\text{ecoli} > 80) = 1$ y la $U(\text{ecoli} < 20) = 0$. Debido se habla de porcentaje de reducción de colonias de E. coli, la utilidad de esta función será creciente.

3.4.3. Subobjetivo Inversión

En este subobjetivo la utilidad máxima será la que se corresponde con “Inv = 0”, y la menor utilidad se corresponde con “Inv200_500”. Por lo tanto: $U(\text{Inv} = 5) = 1$ y la $U(\text{Inv}200_500) = 0$. Como el objetivo es minimizar la inversión, esta función será decreciente.

3.4.4. Subobjetivo Mantenimiento

En este subobjetivo la utilidad máxima será la que se corresponde con “Man = 0”, y la menor utilidad se corresponde con “Man>120”. Por lo tanto, la utilidad estará definida de la siguiente manera: $U(\text{Man} = 5) = 1$ y la $U(\text{Man}>120) = 0$. Como el objetivo es minimizar el mantenimiento, esta función será decreciente.

3.4.5. Subobjetivo Percepción Social

En este objetivo la utilidad máxima será la que se corresponde con la opinión “Buena”, y la menor utilidad se corresponde con la opinión “Malo”. $U(\text{Buena}) = 1$ y la $U(\text{Mala}) = 0$. Como se está hablando de percepción social la utilidad de esta función será creciente.

3.4.6. Subobjetivo Población servida

En este objetivo la utilidad máxima será la que se corresponde con la opinión “Acceso75_100”, y la menor utilidad se corresponde con la opinión “Acceso<25”. Por lo tanto: $U(\text{Acceso}75_100) = 1$ y la $U(\text{Acceso}<25) = 0$. Como el objetivo es incrementar la cobertura de agua potable a la población, esta función de utilidad será creciente.

4. RESULTADOS

El problema de decisión planteado se ha resuelto considerando dicho problema en condiciones de certidumbre y condiciones de incertidumbre.

4.1. Decisión en Certidumbre (Método de TOPSIS)

En primer lugar, se ha resuelto el problema de decisión mediante una técnica de análisis multicriterio bajo consideraciones de certidumbre, es decir se considera que todos los valores son seguros. La resolución del problema se la realiza aplicando el método de TOPSIS, a partir de los valores de la tabla de decisión presentados en las tablas 12 y 13.

En la tabla 20 y figura 15 se presentan los resultados obtenidos al aplicar TOPSIS en cada zona de estudio. Los cálculos realizados se presentan en el Anexo 1.

Tabla 20. Resultados Método TOPSIS

Tipo de Gestión	Zona	
	Antisana	Oyacachi
SG	0,616	0,510
GC	0,753	0,796
GP	0,374	0,351

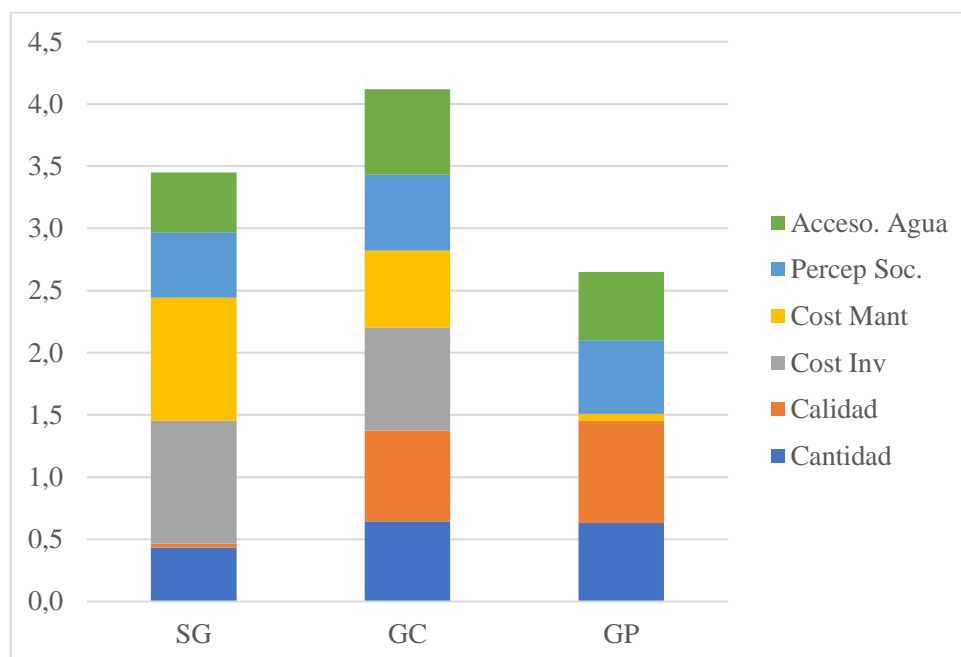


Figura 15. Suma (ponderadamente) la contribución de cada criterio a cada una de las alternativas

Como se puede observar la mejor alternativa en las dos zonas de estudio es la gestión comunitaria, seguida de la decisión de no realizar ningún tipo de gestión, en último lugar se encuentra la alternativa de gestión privada. En la figura 15, mediante un color para cada sub-criterio se aprecia fácilmente como para la alternativa de gestión comunitaria, recibe puntuaciones bastante altas en todos los criterios. La alternativa de no gestión, aunque consigue mayor valor en los subcriterios relativos a costos, apenas consigue ninguna valoración en el criterio ambiental. La alternativa de gestión privada se ve penalizada precisamente los objetivos de costos.

4.1.1. Análisis de sensibilidad: TOPSIS

A pesar de que los resultados con este método son contundentes, hay que tener en cuenta que el método se ha aplicado considerando que todos los subcriterios tienen la misma importancia y esto no tiene por qué ser así. Es decir, algunos criterios pueden tener o ser más importantes, desde el punto de vista de los sectores implicados (las organizaciones ambientalista consideran más importantes los criterios ambientales, mientras que la empresa podría considerar más importantes los criterios económicos). Generalmente la importancia de cada criterio suele ser asignada después de un proceso de participación y negociación entre los diferentes sectores implicados.

El proceso de análisis de decisiones que se presenta en este trabajo suele servir de soporte a este proceso de negociación, por lo que es muy útil un análisis de sensibilidad para verificar si ciertas variaciones en los pesos (importancia) de cada subcriterio conducirían a la misma decisión o a otra.

En este trabajo solo se presenta el análisis de sensibilidad que busca cuales serían los pesos que se deberían asignar a cada criterio, para que la gestión comunitaria deje de ser la mejor alternativa y la gestión privada pase a ser la mejor alternativa, es decir que las preferencias se inviertan. Para lo cual se prioriza el criterio ambiental y se deja con poca relevancia al criterio económico. Dado que en ambas zonas se presentan resultados similares, el análisis de sensibilidad únicamente se realiza para el caso de Antisana. La distribución de pesos con la que la decisión cambia se muestra en la tabla 21. Como era de esperar, para que la gestión privada pase a ser la mejor alternativa, los criterios relativos a los costes deberían tener muy poca importancia (6 % entre ambas), mientras que criterio de calidad ambiental pasaría a tener una importancia mayor (44 %). Por tanto, para que se produzca un cambio en la mejor

alternativa, las preferencias deberían alejarse notablemente de la igualdad. Los resultados del análisis de sensibilidad con los siguientes pesos en cada subcriterio se presentan en la tabla 22.

Tabla 21. Pesos utilizados para el análisis de sensibilidad (TOPSIS)

	Cantidad	Calidad	Cost Inv	Cost Mant	Percep Soc.	Acceso. Agua
Pesos	0,2	0,44	0,03	0,03	0,15	0,15

Tabla 22. Resultados del Análisis de Sensibilidad - TOPSIS

Tipo de Gestión	Antisana
SG	0,104
GC	0,882
GP	0,884

4.2. Decisión en Incertidumbre (GeNIe)

Se analiza el diagrama de influencia del problema de decisión, con el modo de visualización que permite ver los valores de las utilidades de cada uno de los subcriterios, en la figura 17 se muestra cómo se distribuyen dichas utilidades.

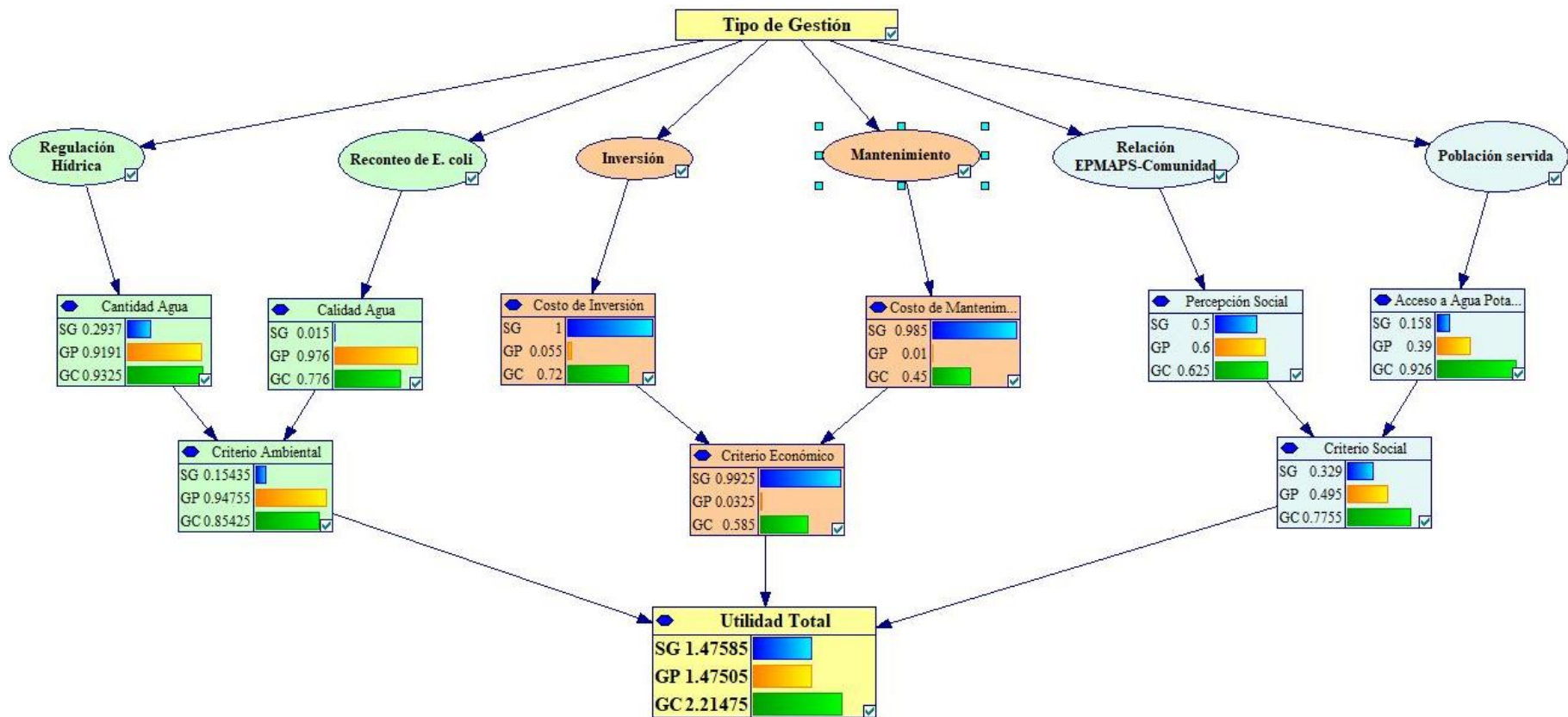


Figura 16. Diagrama resultados del problema modelizado en GeNIe

Al resolver el modelo en GeNIe, incluyendo los valores de utilidad y creencias antes explicados, se obtiene el resultado que se presenta en la figura 18.

Node properties: Utilidad Total

Expected utilities for different policies:			
Tipo de Gestión	SG	GP	GC
Exp. utility	1.47585	1.47505	2.21475

Figura 17. Resultados: Utilidad Total

Como se observa, la alternativa con mayor valor de utilidad es la gestión comunitaria, seguida de la gestión privada y como última alternativa el no realizar ningún tipo de gestión.

4.3. Análisis de sensibilidad: GeNIe

Como se mencionó anteriormente, la alternativa con mejores resultados es la de gestión comunitaria, las otras dos alternativas consiguen valoraciones bastante similares, aunque por criterios distintos. Por lo que es importante realizar un análisis de sensibilidad para verificar si ciertas variaciones en el modelo de decisión conducirían a la misma decisión o a otra, o lo que es lo mismo, para saber cuan de robusto ha sido el proceso de decisión.

En el anterior análisis se había considerado que, en la utilidad total, las contribuciones de cada uno de los tres objetivos: ambiental, económico y social, tenían la misma importancia. Esta importancia relativa suele depender de los intereses del tomador de decisiones. A diferencia del análisis de sensibilidad que se ha presentado para el análisis de decisión bajo certidumbre, en esta memoria se incluye un análisis de sensibilidad correspondiente a escenarios en los que se aplican ligeras variaciones en los pesos aplicados a cada criterio. En la tabla 23 se muestra los cinco escenarios planteados en la solución del problema, en la misma tabla se indica el peso de cada criterio correspondiente al escenario elegido y la utilidad total obtenida para cada tipo de gestión al realizar estos cambios.

Tabla 23. Análisis de sensibilidad con distintos escenarios

#	Escenario	Peso	SG	Utilidad		
				GP	GC	
1	Todos igual	Ambiental	1	1,476	1,475	2,21
		Económico	1			
		Social	1			
2	+ 20 % Ambiental	Ambiental	1.2	1,37	1,61	2,24
		Económico	0.9			
		Social	0.9			
3	+ 20 % Económico	Ambiental	0.9	1,62	1,33	2,17
		Económico	1.2			
		Social	0.9			
4	+ 20 % Social	Ambiental	0.9	1,42	1,47	2,23
		Económico	0.9			
		Social	1.2			
5	+ 30 % Ambiental + 20 % Social - 50 % Económico	Ambiental	1.3	1,09	1,84	2,33
		Económico	0.5			
		Social	1.2			

Como se aprecia la tabla anterior, la gestión comunitaria sigue siendo la mejor alternativa para todos los escenarios propuestos. Mientras que no realizar ningún tipo de gestión es la peor estrategia en todos los escenarios excepto en el que se le da mayor importancia al criterio económico (20%).

Los diagramas resultantes de análisis de sensibilidad en los distintos escenarios se presentan en los anexos 2, 3, 4 y 5 respectivamente.

5. DISCUSIÓN

Una vez que se ha resuelto el problema planteado con condiciones de certidumbre y condiciones de incertidumbre, la alternativa que presenta mejores resultados tanto con el método TOPSIS (certidumbre) y con GeNIe (incertidumbre), es la referente a la gestión comunitaria, sobre todo porque esta alternativa tiene menores costos de inversión y mantenimiento que la gestión privada y arroja buenos resultados en el criterio ambiental y social.

La alternativa de sin gestión, es la clara ganadora en relación al criterio económico, ya que dicha alternativa no requerirá de ningún costo. Aunque, a largo plazo, no realizar ningún tipo de gestión puede provocar problemas de contaminación y escasez de agua, por lo que esta alternativa es la perdedora en lo relativo al criterio ambiental. Todo esto hace que al realizar análisis de sensibilidad dando prioridad al criterio ambiental y social, ya no resulta ser una muy buena opción. En ese sentido, la alternativa sin gestión es la de menor utilidad en lo relativo al objetivo ambiental con una clara diferencia respecto a las otras dos alternativas, y es también la peor alternativa en cuanto al criterio de percepción social, aunque la diferencia con las otras dos alternativas no es muy notable.

En cuanto a las otras dos alternativas, gestión privada y gestión comunitaria, ambas presentan utilidades muy similares en lo relativo a los subcriterios cantidad de agua y percepción social, mientras que la gestión privada es la de mayor utilidad en lo relativo al subcriterio calidad de agua, aunque es la peor alternativa en relación a la utilidad tanto en costos de inversión como de mantenimiento.

Cuando se realizó el análisis de sensibilidad para el método TOPSIS, dando mayor peso a la calidad del agua se puede observar que la mejor estrategia de conservación es la de gestión privada; sin embargo, al realizar el análisis de sensibilidad en GeNIe, se mantiene como alternativa ganadora la gestión comunitaria. Por lo que se puede señalar que independientemente del peso que se le coloque a cada criterio la gestión comunitaria presenta mejores resultados.

Como trabajos futuros, se tiene pendiente incluir más criterios como: demanda de agua, tipos y costos de tratamiento de agua cruda, ingresos por venta de agua potable, entre otros.

6. CONCLUSIONES

La conservación de fuentes de agua que abastecen a las ciudades es cada día más importante, sobre todo por el incremento de impactos y también el aumento de población en los núcleos urbanos, por lo que es necesario disponer de herramientas que ayuden a la toma de decisiones para conservación y protección de fuentes de interés hídrico. En la actualidad existe una variedad de técnicas y programas informáticos que ayudan a la toma de decisiones sujetas o no a incertidumbre.

En este trabajo se muestra como la aplicación de metodologías de decisión multicriterio, es de gran utilidad para la selección entre diversas estrategias de actuación para la conservación de las fuentes de agua potable. Este tipo de análisis, divide el problema en piezas manejables y ayuda a ordenar las ideas de los decisores, permite avanzar paso a paso hacia la búsqueda de una solución, aportando una mayor transparencia y rendición de cuentas al proceso. Además, si se formula a través de comités multidisciplinarios, permite integrar la opinión de los distintos perfiles. Los decisores que han usado esta herramienta la consideran útil para estructurar y notificar la información, incluyendo las consideraciones éticas, ofreciendo un entorno deliberativo estandarizado que sirve para identificar áreas de mejora en la toma de decisiones.

En este trabajo se aplican tanto técnicas de decisión multicriterio en condiciones de certidumbre como en condiciones de incertidumbre. La mayoría de los procesos relativos a la gestión hidrológica están sujetos a elementos inciertos (desde el clima, hasta la percepción de los diferentes sectores implicados), y es importante incluirlos, de forma adecuada, en el proceso de toma de decisiones.

Realizar un completo análisis de decisiones es fundamental para completar de forma adecuada un proceso de análisis de decisiones. Los resultados del mismo, además de aportar explicaciones adicionales relativas al porqué de la mejor decisión, sobre todo son útiles para conocer el grado de robustez que se puede tener respecto al ranking con el que se han valorado las alternativas.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Arburua, M. (2017). *Método de decisión multicriterio TOPSIS*. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=p8WYEn14Cto>
- Ceballos, B., Lamata, M. T., Pelta, D., & Sánchez, J. M. (2013). El método TOPSIS relativo vs. absoluto. *Revista Electrónica de Comunicaciones y Trabajos de ASEPUMA*, 14, 181-192.
- CICA. (s. f.). *Introducción a la Teoría de la Decisión*. Recuperado de <https://thales.cica.es/rd/Recursos/rd99/ed99-0191-03/ed99-0191-03.html>
- Druzdel, M. (1999). *GeNIe: A Development Environment for Graphical Decision-Analytic Models*.
- EPMAPS. (2011). *Plan Maestro de Abastecimiento de Agua*. Recuperado de https://www.aguaquito.gob.ec/sites/default/files/documentos/plan_maestro_agua_potable.pdf
- EPMAPS. (2018). *Memoria de Sostenibilidad*. Recuperado de <https://www.aguaquito.gob.ec/wp-content/uploads/2019/05/Sin-ti%CC%81tulo-4.pdf>
- Hardin, G. (1968). The Tragedy of the Commons. *Science*, 162(3859), 1243. <https://doi.org/10.1126/science.162.3859.1243>
- INEC. (2017). *Tras las cifras de Quito*. Recuperado de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/tras-las-cifras-de-quito/>
- Mayor, J., Botero, S., & González-Ruiz, J. D. (2016). Modelo de decisión multicriterio difuso para la selección de contratistas en proyectos de infraestructura: caso Colombia. *Obras y proyectos*, 56-74.
- Mesa, P., Martín-Ortega, J., & Berbel, J. (2008). *Análisis multicriterio de preferencias sociales en gestión hídrica bajo la Directiva Marco del Agua*. 8,2, 105-126.
- Osorio, R. (2017). *Estrategias de gestión del recurso hídrico para Quito y su contribución a la disponibilidad: análisis de los casos Oyacachi y Antisana desde la economía ecológica* (Universidad Latinoamericana de Postgrado Líder en Ciencias Sociales). Recuperado de <https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/xmlui/handle/10469/13001>
- Ostrom, E. (1999). COPING WITH TRAGEDIES OF THE COMMONS. *Annual Review of Political Science*, 2(1), 493-535. <https://doi.org/10.1146/annurev.polisci.2.1.493>
- Peñaloza, M. (2010). Teoría de las Decisiones. *Perspectivas*, (25), 227-240.
- Romero, C. (1996). *Análisis de las Decisiones Multicriterio* (4.^a ed.). Madrid: Isdefe.
- Sánchez, M. P., de la Garza-González, A., & Rodríguez, M. C. (2015). Análisis de la percepción y conducta ambiental mediante una red bayesiana. *Revista de Psicología; Vol. 23 Núm. 2* (2014). <https://doi.org/10.5354/0719-0581.2015.36148>
- Sucar, L. (s. f.). *Redes Bayesianas*. Recuperado de <https://ccc.inaoep.mx/~esucar/Clases-mgp/caprb.pdf>

- Toskano, G. (2005). *El proceso de análisis jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores* (Universidad Nacional Mayor de San Marcos). Recuperado de http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/Tesis/Basic/toskano_hg/toskano_hg.pdf
- Victoriano, B. (2007). *Teoría de la decisión: Decisión con Incertidumbre, Decisión Multicriterio y Teoría de Juegos*. Recuperado de http://www.mat.ucm.es/~bvitoria/Archivos/a_dt_UCM.pdf

8. ANEXOS

Anexo 1: Cálculos realizados para el método TOPSIS

Matriz de decision

	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>min</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>max</i>
	Cantidad	Calidad	Cost Inv	Cost Mant	Percep Soc.	Acceso. Agua
No Gestion	61	348,6	0	0	2,5	70
G. Comunitaria	91	94,1	70	59,1	2,9	100
G. Privada	89	61	433,6	148,5	2,8	80
Peso	0,167	0,167	0,167	0,167	0,167	0,167

STEP 1: calculate SQRT sum square

	Cantidad	Calidad	Cost Inv	Cost Mant	Percep Soc.	Acceso. Agua
No Gestion	3721	121522	0	0	6,25	4900
G. Comunitaria	8281	8854,81	4900	3492,81	8,41	10000
G. Privada	7921	3721	188008,96	22052,25	7,84	6400
sum columns	19923	134097,8	192908,96	25545,06	22,5	21300
raiz	141,1489	366,1936	439,214025	159,82822	4,74341649	145,9451952

STEP 2: Divide each colum (en esta tabla ya estan renormalizados los valores)

	Cantidad	Calidad	Cost Inv	Cost Mant	Percep Soc.	Acceso. Agua
SG	0,4322	0,9520	0,0000	0,0000	0,5270	0,4796
GC	0,6447	0,2570	0,1594	0,3698	0,6114	0,6852
GP	0,6305	0,1666	0,9872	0,9291	0,5903	0,5482

STEP 3: Multiply by weight

	Cantidad	Calidad	Cost Inv	Cost Mant	Percep Soc.	Acceso. Agua
No Gestion	0,072	0,159	0,000	0,000	0,088	0,080
G. Comunitaria	0,107	0,043	0,027	0,062	0,102	0,114
G. Privada	0,105	0,028	0,165	0,155	0,098	0,091

STEP 4: Determine ideal solution

	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>min</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>max</i>
	Cantidad	Calidad	Cost Inv	Cost Mant	Percep Soc.	Acceso. Agua
No Gestion	0,072	0,159	0,000	0,000	0,088	0,080
G. Comunitaria	0,107	0,043	0,027	0,062	0,102	0,114
G. Privada	0,105	0,028	0,165	0,155	0,098	0,091

$$A^* = \{0,107, 0,028, 0,0, 0,0, 0,102, 0,114\}$$

STEP 5: Determine negative ideal solution (anti Ideal)

	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>min</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>max</i>
	Cantidad	Calidad	Cost Inv	Cost Mant	Percep Soc.	Acceso. Agua
No Gestion	0,072	0,159	0,000	0,000	0,088	0,080
G. Comunitaria	0,107	0,043	0,027	0,062	0,102	0,114
G. Privada	0,105	0,028	0,165	0,155	0,098	0,091

$$A^* = \{0,072, 0,159, 0,165, 0,155, 0,088, 0,080\}$$

STEP 6: Determine separation from ideal A*

	Cantidad	Calidad	Cost Inv	Cost Mant	Percep Soc.	Acceso. Agua	Sep. A*
No Gestion	0,001255	0,017134	0	0	0,000197531	0,001173709	0,14057
G. Comunitaria	0	0,000227	0,00070557	0,00379809	0	0	0,068779
G. Privada	5,58E-06	0	0,02707221	0,02397969	1,23457E-05	0,000521648	0,227138

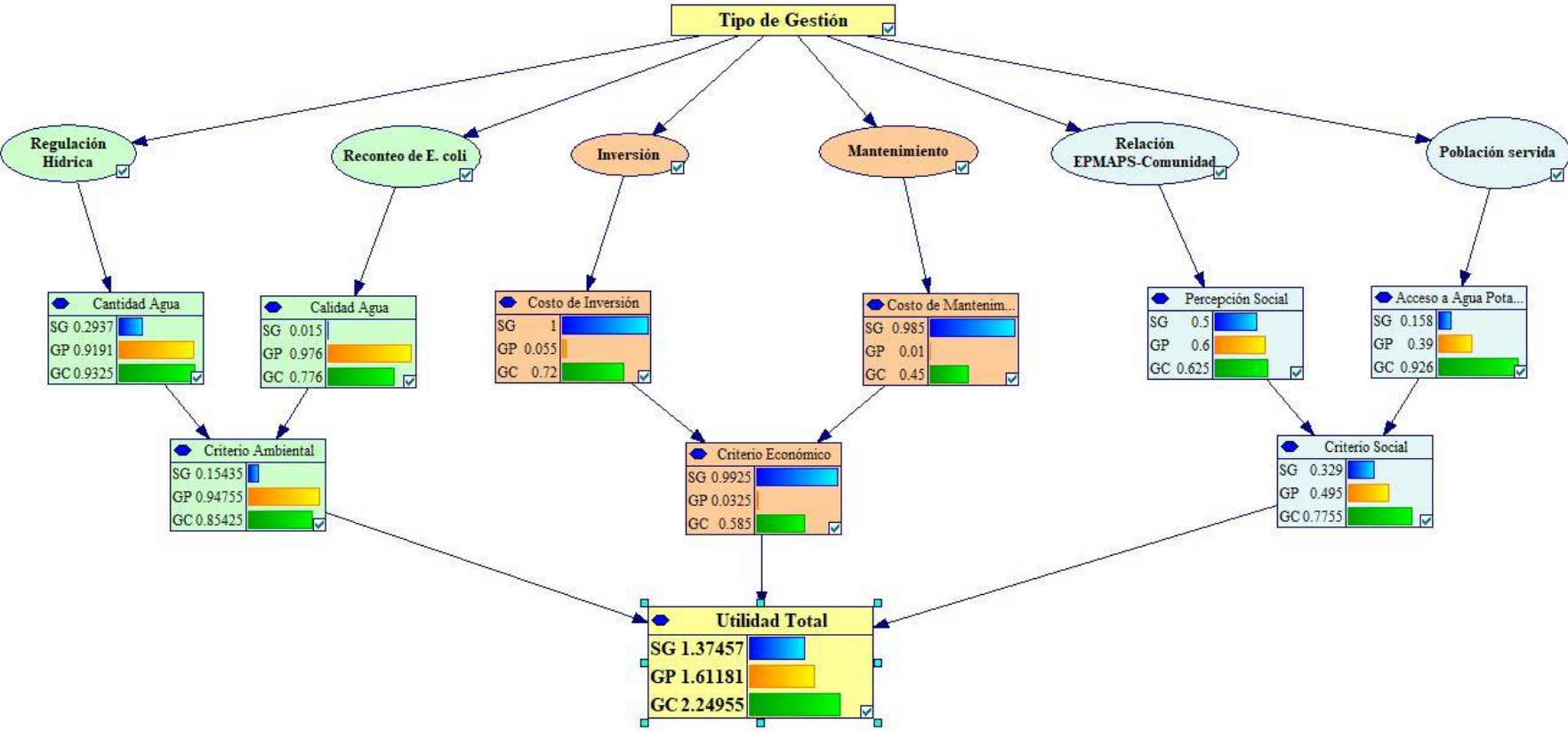
STEP 7: Determine separation from ideal A'

	Cantidad	Calidad	Cost Inv	Cost Mant	Percep Soc.	Acceso. Agua	Sep. A'
No Gestion	0	0	0,02707221	0,02397969	0	0	0,225947
G. Comunitaria	0,001255	0,013417	0,01903675	0,00869092	0,000197531	0,001173709	0,209214
G. Privada	0,001093	0,017134	0	0	0,000111111	0,000130412	0,135899

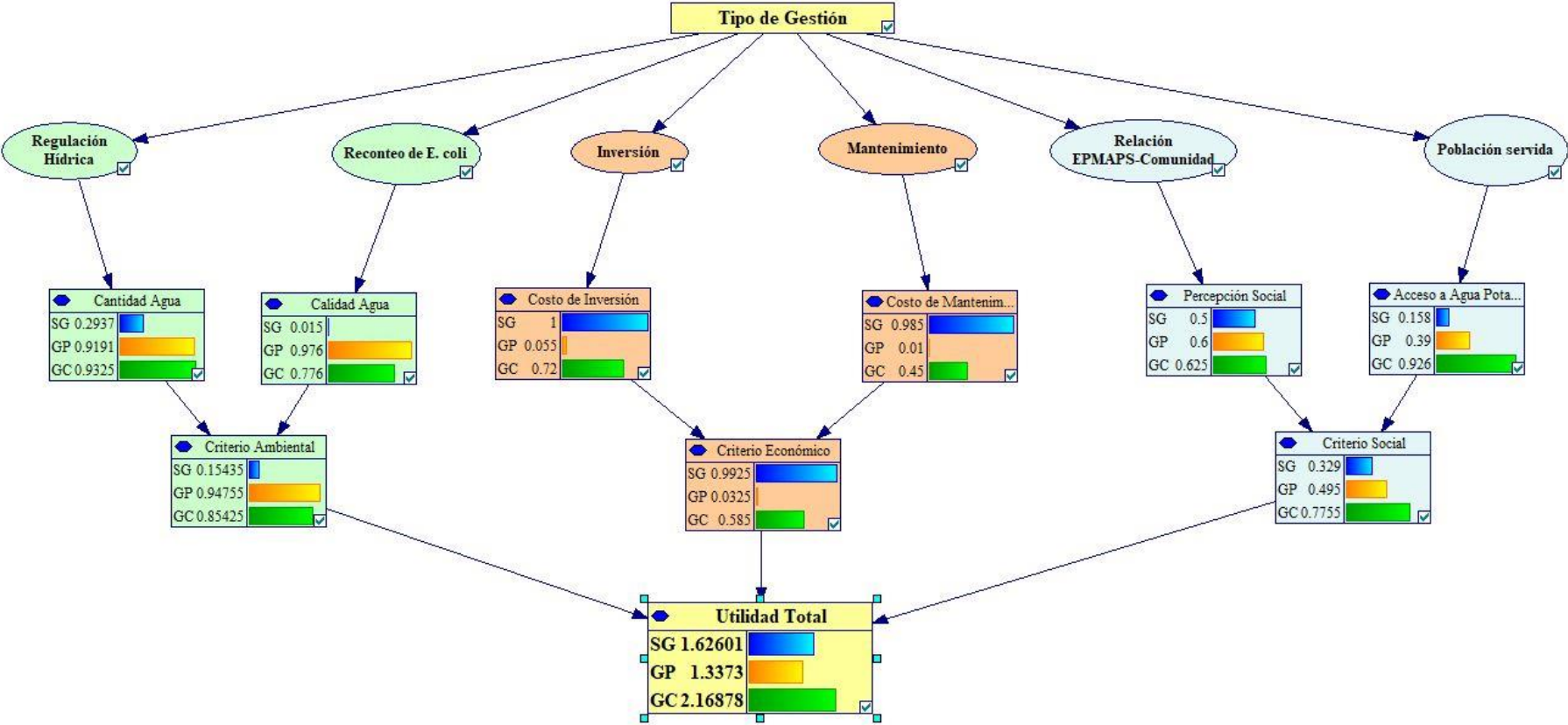
STEP 8: Relative closenes to the ideal A*

No Gestion	0,616	
G. Comunitaria	0,753	Best
G. Privada	0,374	

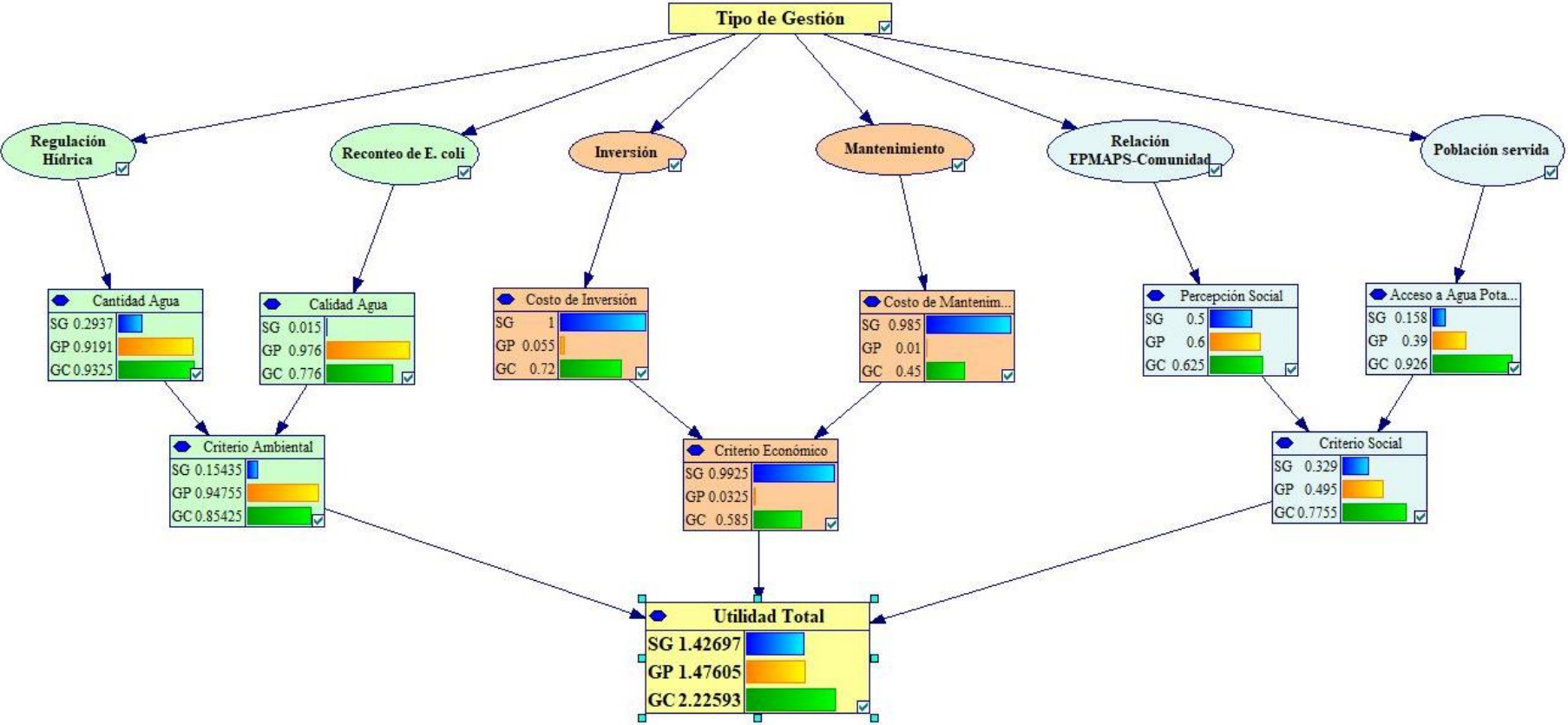
Anexo 2: Escenario 2 – Análisis de sensibilidad



Anexo 3: Escenario 3 – Análisis de sensibilidad



Anexo 4: Escenario 4 – Análisis de sensibilidad



Anexo 5: Escenario 5 – Análisis de sensibilidad

